



TUGAS AKHIR - MN 184802

**ANALISIS KEKUATAN *V-CORE SANDWICH* PANEL PADA
GELADAK KAPAL MENGGUNAKA METODE ELEMEN
HINGGA**

**Hilda Dwi Febriani
NRP 04111440000051**

**Dosen Pembimbing
Dony Setyawan, S.T., M.Eng**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TUGAS AKHIR - MN 184802

**ANALISIS KEKUATAN *V-CORE SANDWICH* PANEL PADA
GELADAK KAPAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN
HINGGA**

**Hilda Dwi Febriani
NRP 04111440000051**

**Dosen Pembimbing
Dony Setyawan, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT - MN 184802

**STRENGTH ANALYSIS OF V-CORE SANDWICH PANEL
ON THE DECK OF SHIP USING FINITE ELEMENT
METHOD**

**Hilda Dwi Febriani
NRP 04111440000051**

**Supervisor
Dony Setyawan, S.T., M.Eng.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KEKUATAN *V-CORE SANDWICH PANEL* PADA GELADAK KAPAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HILDA DWI FEBRIANI
NRP 0411144000051

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Dony Setyawan, S.T., M. Eng.
NIP 19750320 199903 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan



Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 14 NOVEMBER 2018

LEMBAR REVISI

ANALISIS KEKUATAN *V-CORE SANDWICH PANEL* PADA GELADAK KAPAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 31 Oktober 2018

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

HILDA DWI FEBRIANI

NRP 0411144000051

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

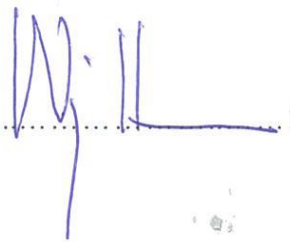
1. Ahmad Nasirudin, S.T., M.Eng.



2. M. Nurul Misbah, S.T., M.T.

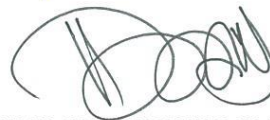


3. Wing Hendropasetyo A.P., S.T., M.Eng.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.



SURABAYA, 14 NOVEMBER 2018

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Dony Setyawan, S.T., M.Eng. dan Ibu Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Ayah, Ibu, Kakak dan Adik yang selalu memberikan dukungan dan doa sehingga menjadikan saya selalu semangat dan semakin giat untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini;
3. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Konstruksi Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas izin pemakaian fasilitas laboratorium;
4. Bapak Hasanudin, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan penelitian ini dan atas izin pemakaian fasilitas laboratorium;
5. Ibu Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T., selaku Dosen Wali dan Kepala Departemen Teknik Perkapalan yang telah memberikan dukungan secara moril;
6. Nova, Haidar, Yoyok, Dhika, Alif, Reza, Nuku, Uun, Adam, Tom, Chandra, Robert, Rifqi, Refdi, dan Al sebagai teman seperjuangan dalam mengerjakan tugas akhir ini yang selalu memberikan bantuan dan wejangan;
7. Varisha, Jessica, Sasa, Halida, Winda, Raya, Karina (anggota Princess) serta teman – teman P54 DEADRISE yang sudah mengajarkan, membantu, menyemangati, dan memberi motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
8. Mbak Shakina Azizul Haque yang sudah mengajaran, membantu dan menyemangati dalam menyelesaikann tugas akhir ini;
9. Teman – teman Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya yang tidak bisa penulis

sebut satu per satu yang sudah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir;

10. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak bisa saya untuk disebutkan satu persatu;

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 16 Oktober 2018

Hilda Dwi Febriani

ANALISIS KEKUATAN *V-CORE SANDWICH PANEL* PADA GELADAK KAPAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Nama Mahasiswa : Hilda Dwi Febriani
NRP : 04111440000051
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Dony Setywan, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan zaman, diharapkan teknologi saat ini mampu untuk menciptakan kapal yang cepat, ringan dan dapat mengangkut muatan dalam jumlah besar dengan tingkat keselamatan yang tinggi saat berlayar maupun bersandar. Kriteria tersebut dapat dicapai dengan melakukan inovasi pada bagian konstruksi dengan mengembangkan pelat yang dapat dipasang di kapal seperti geladak yang akan analisa pada penelitian ini tanpa perlu menggunakan penegar yaitu *sandwich panel*. Penggunaan *sandwich panel* pada geladak kapal tentunya perlu memperhatikan aspek keamanan untuk memastikan kekuatan struktur geladak mampu bertahan dikenai beban. Sehingga kekuatan geladak dengan *v-core sandwich panel* dapat dicek dengan *finite elemen method*. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah mencari *v-core sandwich panel* yang paling optimal dilihat dari segi tegangan, deformasi dan berat konstruksi jika dibandingkan dengan geladak berpenegar. Terdapat 3 model *v-core sandwich panel* yang dibedakan dari ketinggian *core*-nya. Model 1 memiliki tinggi *core* 110 mm, model 2 memiliki tinggi *core* 55 mm dan model 3 memiliki ketinggian *core* 220 mm. Ketiga model tersebut memiliki variasi ketebalan yang sama yang dibagi lagi menjadi variasi A sampai dengan variasi F. Variasi A dan Variasi D memiliki variasi ketebalan *face* dan *core* yang sama yaitu dari tebal 1 mm sampai 6 mm. Variasi B, variasi C, variasi E dan variasi F memiliki variasi ketebalan *face* dan *core* yang berbeda-beda. Hasil percobaan didapatkan desain *v-core sandwich panel* yang paling optimal adalah desain pada model 1 dengan tinggi *core* 110 mm, ketebalan *face* 5 mm, ketebalan *core* 5 mm, jarak antar *core* 62 mm dan lebar *core* 120 mm dengan besar tegangan yaitu 44,8 Mpa dimana nilai ini sudah kurang dari tegangan izin dan kurang dari tegangan pelat berpenegar dengan besar deformasi 3,921 mm dan berat 28, 5827 ton.

Kata kunci: *v-core*, *sanwich panel*, tegangan, deformasi, berat.

STRENGTH ANALYSIS OF SANDWICH PANEL V-CORE ON THE DECK OF SHIP USING FINITE ELEMENT METHOD

Author : Hilda Dwi Febriani
Student Number : 04111440000051
Department / Faculty : Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor : Dony Setyawan, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

Along with the time, current technology is expected be able to created vessel that are fast, lightweight and can carry loads in large quantities with high level of security. That criteria can be achieved by innovating the constrution part by developing plate that can be installed on the ship like on deck that will be analyzed in this study without stiffener called sandwich panel. The use of sandwich panels on the deck certainly needs more attention to the security aspects to ensure the strength of the structure is able to withstand the load. Finite element method is used to check strength of v-core sandwich panel. Analysis that carried out in this research is to find the most optimal v-core sandwich panel in terms of stress, deformation and weight of the construction when compared to an ordinary deck. There are three models of v-core sandwich panel that distinguished by height of the core. Model one has a 110 mm core height, model two has a 55 mm core height and model three has a 220 mm core height. All of that models have same thickness variation which is distinguished into variation A to F. Variation A and Variation E has the same face and core thickness from 1 mm to 6 mm. Variation B, variation C, variation E and variation F have different face and core thickness. As the result of the experiment, the most optimal design of the v-core sandwich panel is design of model one with a 110 mm core height, 5 mm face thickness, 5 mm core thickness, 62 mm distance between cores and 120 mm width of the core. The maximum stress of model one is 44,8 Mpa where this result is less than permissible stress and less than stress of the stiffener deck. The maxximum deformation of v-core sandwich panel model one is 3,921 mm and the weight 28,5827 tons.

Keywords: v-core, sandwich panel, stress, deformation, weight.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR REVISI	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERUNTUKAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Tujuan	2
I.4. Batasan Masalah	2
I.5. Manfaat	3
I.6. Hipotesis	3
Bab II STUDI LITERATUR	5
II.1. Dasar Teori	5
II.1.1. <i>Sandwich Panel</i>	5
II.1.2. Penggunaan <i>Sandwich Panel</i> pada Kapal	6
II.1.3. Teori Elastisitas	7
II.1.4. Tegangan	8
II.1.5. Regangan	9
II.1.6. Hubungan Tegangan dan Regangan	9
II.1.7. Tegangan <i>Von Mises</i>	10
II.1.8. <i>Safety Factor</i> dan Tegangan Izin	11
II.1.9. Metode Elemen Hingga	12
II.1.10. <i>Meshing</i>	13
II.1.11. Jenis Tumpuan	14
II.1.12. Baja A36	15
II.2. Tinjauan Pustaka	17
II.2.1. <i>V-Core Sandwich Panel</i>	17
II.2.2. Produksi <i>Sandwich Panel</i>	18
II.2.3. Penyambungan Panel-Panel <i>Sandwich</i>	20
Bab III METODOLOGI	23
III.1. Diagram Alir	23
III.2. Metode	25
III.2.1. Studi Literatur	25
III.2.2. Pengumpulan Data	25
III.2.3. Pemodelan	27
III.2.4. Konvergensi	28
III.2.5. Analisis Tegangan	28

Bab IV PEMODELAN DAN KONVERGENSI.....	29
IV.1. Pemodelan Geladak Berpenegar	29
IV.1.1. <i>Preferences</i>	29
IV.1.2. <i>Preprocessor</i>	29
IV.1.3. <i>Solution</i>	35
IV.1.4. <i>General Postproc</i>	36
IV.2. Pemodelan Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel</i>	37
IV.2.1. <i>Preprocessor</i>	37
IV.2.2. <i>Solution</i>	44
IV.2.3. <i>General Postproc</i>	45
IV.3. Konvergensi.....	46
Bab V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	49
V.1. Analisis dan Pembahasan Hasil.....	49
V.2. Geladak Berpenegar	49
V.3. Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel</i>	50
V.3.1. Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 1	50
V.3.2. Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 2	56
V.3.3. Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 3	62
V.4. Berat Konstruksi.....	67
V.4.1. Berat Konstruksi Geladak <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 1	67
V.4.2. Berat Konstruksi Geladak <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 2	70
V.4.3. Berat Konstruksi Geladak <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 3	72
V.5. Tegangan Maksimum	75
V.6. Deformasi Maksimum	76
V.7. Pembahasan Model Optimal	77
Bab VI KESIMPULAN DAN SARAN	81
VI.1. Kesimpulan.....	81
VI.2. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA.....	83
LAMPIRAN	
Lampiran Perhitungan Berat Geladak Berpenegar dan Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel</i> .	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1. (a) <i>Sandwich Plate System</i> (b) <i>Steel Sandwich Panel</i> dengan berbagai macam tipe <i>core</i> (c) <i>Honeycomb Sandwich Panel</i>	5
Gambar II.2. (a) <i>Free body diagram</i> batang (b) batang sebelum pembebanan	8
Gambar II.3. Kurva Tegangan Regangan	10
Gambar II.4. Contoh <i>Meshing</i>	13
Gambar II.5. <i>2D Structured Mesh</i>	14
Gambar II.6. <i>2D Unstructured Mesh</i>	14
Gambar II.7. Tumpuan Sendi	15
Gambar II.8. Tumpuan Rol	15
Gambar II.9. Tumpuan Jepit	15
Gambar II.10. <i>V-Core Sandwich Panel</i>	17
Gambar II.11. Arah <i>V-Core Sandwich Panel</i>	17
Gambar II.12. Dimensi <i>V-Core Sandwich Panel</i>	18
Gambar II.13. <i>Laser Welding</i> pada <i>Sandwich Panel</i>	19
Gambar II.14. Macam-macam Sambungan Geometri untuk Las Laser Panel <i>Sandwich</i>	20
Gambar II.15. Sambungan Panel <i>Sandwich</i> Berbentuk Profil U	21
Gambar II.16. Pengelasan Sambungan Panel <i>Sandwich</i> Berbentuk Profil U	21
Gambar III.1. Diagram Alir Proses Pengerjaan Tugas Akhir	24
Gambar III.2. Gambar Rencana Umum Tanker 17500 LTDW	26
Gambar III.3. Gambar Penampang Melintang Tanker 17500 LTDW	27
Gambar IV.1. Pemilihan Tipe Analisis	29
Gambar IV.2. Pemilihan Tipe Elemen	30
Gambar IV.3. Pemilihan Sifat Material	30
Gambar IV.4. Penentuan Ketebalan Material untuk Proses <i>Meshing</i>	31
Gambar IV.5. Pembuatan model (a) Titik Keypoint (b) Titik Menjadi Garis (c) Garis Menjadi Luas	32
Gambar IV.6. Hasil <i>Meshing</i> Geladak	33
Gambar IV.7. Pemberian Beban Lateral	34
Gambar IV.8. Nilai $\phi 1$ dan $\phi 2$	34
Gambar IV.9. Pemberian <i>Boundary Condition</i>	35
Gambar IV.10. Proses <i>solve</i> sudah selesai	36
Gambar IV.11. Besar Tegangan pada Geladak Berpenegar	36
Gambar IV.12. Besar Deformasi pada Geladak Berpenegar	37
Gambar IV.13. Pemilihan Tipe Elemen	37
Gambar IV.14. Pemilihan Sifat Material	38
Gambar IV.15. Penentuan Ketebalan Material untuk Proses <i>Meshing</i>	39
Gambar IV.16. <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 1	39
Gambar IV.17. <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 2	40
Gambar IV.18. <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 3	41
Gambar IV.19. Model <i>V-Core Sandwich Panel</i>	42
Gambar IV.20. Hasil <i>Meshing</i> Geladak <i>V-Core Sandwich Panel</i>	43
Gambar IV.21. Pemberian <i>Beban</i>	43
Gambar IV.22. Pemberian <i>Boundary Condition</i>	44

Gambar IV.23. Hasil <i>Solving</i>	45
Gambar IV.24. Besar Tegangan pada Geladak <i>V-Core Sandwich Panel</i>	45
Gambar IV.25. Besar Deformasi pada Geladak <i>V-Core Sandwich Panel</i>	46
Gambar IV.26. Hasil Konvergensi Geladak berpenegar	46
Gambar IV.27. Hasil Konvergensi Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel Model 1</i>	47
Gambar IV.28. Hasil Konvergensi Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel Model 2</i>	47
Gambar IV.29. Hasil Konvergensi Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel Model 3</i>	48
Gambar V.1. Tegangan pada Geladak Berpenegar	49
Gambar V.2. Deformasi pada Geladak Berpenegar	50
Gambar V.3. Tegangan pada Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel Model 1</i>	51
Gambar V.4. Deformasi pada Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel Model 1</i>	51
Gambar V.5. Grafik Tegangan Vs Tebal <i>Face</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 1</i>)	54
Gambar V.6. Grafik Tegangan Vs Tebal <i>Core</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 1</i>)	54
Gambar V.7. Grafik Deformasi Vs Tebal <i>Core</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 1</i>)	55
Gambar V.8. Grafik Deformasi Vs Tebal <i>Core</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 1</i>)	56
Gambar V.9. Tegangan pada Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel Model 2</i>	57
Gambar V.10. Deformasi pada Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel Model 2</i>	57
Gambar V.11. Grafik Tegangan Vs Tebal <i>Face</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 2</i>)	60
Gambar V.12. Grafik Tegangan Vs Tebal <i>Core</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 2</i>)	60
Gambar V.13. Grafik Deformasi Vs Tebal <i>Face</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 2</i>)	61
Gambar V.14. Grafik Deformasi Vs Tebal <i>Core</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 2</i>)	62
Gambar V.15. Tegangan pada Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Model 3</i>	63
Gambar V.16. Deformasi pada Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel Model 3</i>	63
Gambar V.17. Grafik Tegangan Vs Tebal <i>Face</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 3</i>)	65
Gambar V.18. Grafik Tegangan Vs Tebal <i>Core</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 3</i>)	66
Gambar V.19. Grafik Deformasi Vs Tebal <i>Face</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 3</i>)	66
Gambar V.20. Grafik Deformasi Vs Tebal <i>Core</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 3</i>)	67
Gambar V.21. Grafik Berat Vs Tebal <i>Face</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 1</i>)	69
Gambar V.22. Grafik Berat Vs Tebal <i>Core</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 1</i>)	70
Gambar V.23. Grafik Berat Vs Tebal <i>Face</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 2</i>)	72
Gambar V.24. Grafik Berat Vs Tebal <i>Core</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 2</i>)	72
Gambar V.25. Grafik Berat Vs Tebal <i>Face</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel Model 3</i>)	74

Gambar V.26. Grafik Berat Vs Tebal <i>Core</i> (Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 3).....	75
Gambar V.27. Letak Deformasi Maksimum.....	77
Gambar V.28. Model Geladak Berpenegar.....	79
Gambar V.29. Model Geladak dengan <i>V-Core Sandwich Panel</i>	79

DAFTAR TABEL

Tabel II.1. Komposisi Kimia Baja A36	16
Tabel III.1. Ukuran Utama Kapal Tanker 17500 <i>Double Hull</i> LTDW	25
Tabel III.2. Detail Konstruksi dan Ukuran Utama Model	27
Tabel IV.1. Penentuan Kondisi Batas Model	35
Tabel IV.2. Penentuan Kondisi Batas Model	44
Tabel V.1 Nilai Tegangan dan Deformasi Saat t_f Sama (<i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 1)	53
Tabel V.2 Nilai Tegangan dan Deformasi Saat t_c Sama (<i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 1)	53
Tabel V.3 Nilai Tegangan dan Deformasi Saat t_c Sama (<i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 2)	59
Tabel V.4 Nilai Tegangan dan Deformasi Saat t_f Sama (<i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 2)	59
Tabel V.5 Nilai Tegangan dan Deformasi Saat t_c Sama (<i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 3)	64
Tabel V.6 Nilai Tegangan dan Deformasi Saat t_f Sama (<i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 3)	64
Tabel V.8 Berat Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 1	68
Tabel V.7 Berat Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 1	68
Tabel V.9 Berat Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 2	71
Tabel V.10 Berat Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 2	71
Tabel V.12 Berat Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 3	73
Tabel V.11 Berat Geladak Berpenegar dan <i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 3	73
Tabel V.13. Rekapitulasi Berat <i>V-Core Sandwich Panel</i> yang Kurang dari Tegangan Geladak Berpenegar	78

DAFTAR SIMBOL

A	=	Luas area (m)
λ	=	Koefisien dari konduktifitas panas, ($\text{J.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
ρ	=	Massa jenis material (kg.m^{-3})
F	=	Gaya (N)
ε	=	Regangan
E	=	Modulus Young
σ	=	Tegangan
Δl	=	Pertambahan panjang (m)
l_0	=	Panjang awal (m)
σ_{VM}	=	Tegangan <i>Von Mises</i>
σ_y	=	Tegangan luluh
n	=	Faktor Keamanan
τ	=	Tegangan geser
t_c	=	Tebal <i>core</i>
t_f	=	Tebal <i>face plate</i>
H_f	=	Tinggi <i>core</i>
$St/S1$	=	Lebar <i>core</i>
$S2$	=	Jarak antar <i>core</i>
ν	=	Angka perbandingan poisson
F_s	=	Gaya (N)
A_s	=	Luas bidang geser (m^2)
G	=	Modulus geser
γ	=	Regangan geser

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Kapal merupakan alat transportasi yang digunakan untuk mengangkut penumpang dan barang. Seiring dengan perkembangan zaman, diharapkan teknologi saat ini mampu untuk menciptakan kapal yang cepat, ringan dan dapat mengangkut muatan dalam jumlah besar dengan tingkat keselamatan yang tinggi saat berlayar maupun bersandar. Kriteria tersebut dapat dicapai dengan melakukan inovasi pada bagian konstruksi kapal. Inovasi dilakukan dengan membuat konstruksi yang ringan namun kuat. Manfaat yang akan didapatkan misalnya pada kapal perang sistem konstruksi yang ringan akan menambah kecepatan kapal dan untuk kapal niaga memungkinkan untuk mengangkut muatan yang lebih banyak selain itu sistem konstruksi yang lebih sederhana sangat dibutuhkan oleh kapal yang mengangkut bahan berbahaya seperti pada kapal tanker. Karena sistem konstruksi yang rumit memiliki kelemahan misalnya konstruksi geladak tanker yang terdiri dari pelat, penegar dan pembujur kondisi tersebut menyulitkan pada saat pembersihan muatan minyak terutama pada sela-sela penegar. Sisa-sisa minyak ini dapat membahayakan kapal tanker ketika kapal sedang dilakukan perbaikan yang melibatkan proses panas (pengelasan) seperti pada MT Sonecon yang meledak saat pekerja melakukan pengelasan pada bagian geladak kapal mengakibatkan ABK terluka.

Saat ini telah dilakukan inovasi dari konstruksi dengan mengembangkan pelat yang dapat dipasang di kapal tanpa perlu menggunakan penegar yaitu *sandwich panel*. *Sandwich panel* secara umum merupakan gabungan dua pelat baja yang dipisahkan oleh *core* (inti). *Core* (inti) ini dapat berupa bahan komposit atau metal. *Composite sandwich panel* merupakan struktur yang terdiri dari bahan *non-metallic* seperti busa, poliuretan dan kayu balsa sedangkan untuk *metallic sandwich panel* merupakan struktur yang intinya dapat terbuat dari baja atau aluminium. *Sandwich panel* yang intinya terdiri dari baja memiliki berbagai macam tipe seperti *C-core*, *I-core*, *Z-core*, *X-core* sedangkan, untuk *sandwich panel* yang intinya berupa aluminium memiliki bentuk seperti sarang lebah. Pelat baja dan inti pada *sandwich panel* ini disatukan dengan cara pengelasan titik, keling atau *self tapping screw*. *Sandwich panel* dapat menjadi solusi pengganti pelat konvensional yang pemasangan sebelumnya menggunakan penegar menjadi tanpa penegar. Bahan *sandwich panel* yang lebih ringan, memiliki ketahanan

yang lebih baik terhadap korosi, getaran dan panas dari pada pelat konvensional hal tersebut dapat menjadi nilai tambah penggunaan *sandwich panel* pada konstruksi kapal terutama pada bagian geladak.

Penggunaan *sandwich panel* pada geladak kapal tentunya perlu memperhatikan aspek keamanan untuk memastikan kekuatan struktur geladak mampu bertahan dikenai beban. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencegah kemungkinan bahaya yang akan terjadi jika *sandwich panel* di aplikasikan pada geladak kapal dan untuk mendapatkan desain, nilai tegangan, deformasi serta berat pada konstruksi geladak. Pemodelan dan perhitungan konstruksi struktur dilakukan dengan *software* elemen hingga.

I.2. Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas, maka permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana desain *v-core sandwich panel* sebagai geladak pada kapal?
2. Bagaimana kekuatan dan berat *v-core sandwich panel* sebagai geladak pada kapal?

I.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui desain *v-core sandwich panel* sebagai geladak pada kapal.
2. Mendapatkan nilai kekuatan dan berat geladak kapal yang menggunakan *v-core sandwich panel*.

I.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang difokuskan dalam pengerjaan penelitian ini adalah:

1. Analisis kekuatan geladak menggunakan *Finite Elemen Method* (FEM)
2. Perhitungan meliputi satu panel pelat *sandwich* dengan *core* berbentuk V yang terletak antara sekat memanjang sampai *inner hull* kapal tanker.
3. Analisis kekuatan dilakukan pada *v-core sandwich panel* dengan variasi ketebalan *face plate* dan *core*.
4. Analisis pemodelan dilakukan tanpa menghiraukan sambungan pelat.
5. Pemodelan mengabaikan faktor stabilitas.
6. *Sandwich panel* diasumsikan dapat dibuat di bengkel produksi.

7. Beban yang digunakan untuk analisis adalah beban lateral.

I.5. Manfaat

Penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memahami penerapan *software* elemen hingga yang sesuai untuk analisis kekuatan struktur dari *sandwich panel*.
2. Dapat dijadikan sebagai alternatif pengganti pelat konvensional terutama pada geladak kapal.

I.6. Hipotesis

Hasil Penelitian akan menunjukkan *sandwich panel* memiliki kekuatan struktur yang sesuai dengan standar regulasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

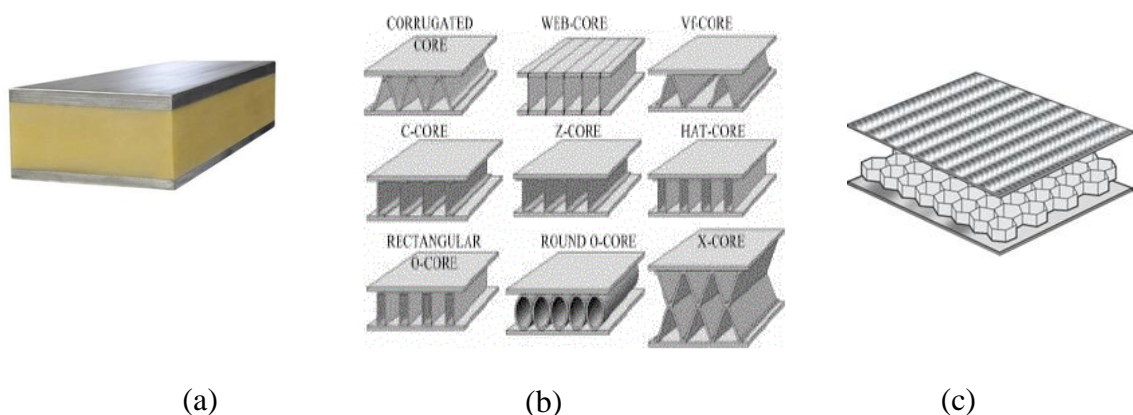
BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

II.1.1. Sandwich Panel

Sandwich panel merupakan pelat yang terdiri dari *face plate* dan *core* (inti) yang disatukan dengan *spot welding*, keling atau *self tapping screw*. *Sandwich panel* dapat terdiri dari material komposit yang terdiri dari komponen *non-metallic*. Terdapat dua jenis *metallic sandwich panel*. Panel yang terdiri dari *face plate* baja yang disatukan dengan elastomer poliuretan contohnya (*Sandwich Plate System*) yang dikembangkan oleh *Intellegend Engineering* dan panel yang keseluruhannya baik *face plate* dan *core* merupakan struktur metal yang dilas bersama. *Metallic sandwich panel* strukturnya dapat terdiri dari baja maupun aluminium. *Sandwich panel* baja dapat terdiri dari berbagai jenis tipe *core* yaitu, *C-Core*, *Z-Core*, *I-Core*, *X-Core*, *V-Core*. Sedangkan untuk *alluminium sandwich panel* memiliki tipe *core* yang berbentuk *honeycomb* atau sarang lebah. Macam-macam bentuk *core* dapat dilihat pada Gambar II.1. Pemilihan tipe *core* biasanya disesuaikan dengan penggunaan berdasarkan pertimbangan. Selama proses produksi atau setelah *face plate* dan *core* dilas bersamaan, *core* pada *sandwich panel* dapat diisi dengan mineral, busa, beton untuk meningkatkan kemampuan panel sesuai dengan target yang diinginkan (Kamlesh, 2016).



Gambar II.1. (a) Sandwich Plate System (b) Steel Sandwich Panel dengan berbagai macam tipe core (c) Honeycomb Sandwich Panel
(Kamlesh, 2016)

Menurut Kujala (2005) semua jenis *sandwich panel* memiliki sejumlah keunggulan seperti memiliki rasio kekakuan dan berat yang baik serta akurasi pra-manufaktur yang tinggi. Selain itu *sandwich panel* juga memiliki kekurangan seperti integrasi dalam struktur kapal. Berbagai jenis *sandwich panel* memiliki keunggulan dan kekurangannya masing-masing. *Sandwich* dengan bahan baja relatif ringan dan total biaya produksi yang ekonomis dibanding dengan struktur ringan lainnya. Proses produksi pelat *sandwich* membutuhkan jenis pengelasan laser dengan biaya investasi cukup tinggi, oleh karena itu harga panel dipengaruhi dengan volume produksi. Namun, dengan berat yang berkurang maka biaya material lebih murah sehingga biaya produksi dari *sandwich panel* hampir sama dengan biaya pelat konvensional. Berikut merupakan keuntungan dan permasalahan dalam penggunaan *sandwich panel* pada industri kapal (SANDCORE, 2013):

a. Keuntungan Penggunaan *Sandwich Panel* dibanding dengan Pelat Konvensional:

- *High Stiffness* terhadap rasio berat, sesuai untuk *lightweight* desain
- Ketahanan tekuk yang baik dibandingkan dengan struktur pelat orthotropik tipis.
- Mengurangi ketinggian konstruksi (dibandingkan dengan geladak berpenegar) untuk memperluas ruang bebas.
- *Unsuported span* yang luas, sehingga mengurangi kebutuhan elemen pendukung
- Ketepatan dan kerataan dimensi karena proses fabrikasi di bengkel (tidak disarankan merakit di kapal)
- Mengurangi waktu *assembly* melalui pendekatan modular pada konstruksi

b. Permasalahan penggunaan *sandwich panel*:

- Biaya material tinggi
- Prosedur perancangan/ validasi yang kompleks
- Kurangnya orang yang ahli pada struktur *sandwich panel* dan peralatan di galangan
- Dibutuhkan perencanaan detail dari *modular construction*
- Kurangnya data dan informasi untuk mendukung produksi konstruksi dengan *sandwich panel* dibandingkan dengan teknologi konstruksi konvensional.

II.1.2. Penggunaan *Sandwich Panel* pada Kapal

Penggunaan *sandwich panel* pada kapal mulai dilakukan pada pertengahan tahun 1990 di Amerika oleh Angkatan Laut Amerika Serikat. Perkembangan dan penerapan *sandwich*

panel difokuskan pada kapal angkatan laut. Alasan utama aplikasi *sandwich panel* pada kapal angkatan laut adalah untuk penghematan berat dan peningkatan ketahanan terhadap api, ledakan dan penetrasi. Pengembangan *sandwich panel* terdiri dari pembuatan panel dengan *tack welding* konvensional dan *laser welding* selain itu dihitung juga estimasi dari kekuatan, ketahanan api dan ledakan *sandwich panel*. Dilakukan juga investigasi dasar tentang perbaikan dan pemeliharaan serta pengembangan *core* pada *sandwich panel* seperti *corrugated core*. Penghematan berat diperkirakan mencapai 50% (MARSICO, 1993).

Meyer Werft memelopori penerapan pengelasan laser pada *sandwich panel* terutama pada penggunaan *web* sebagai *core* pada *sandwich panel*. produk ini disebut *I-Core*. *I-Core* sudah banyak digunakan pada kapal pesiar yang dibangun di Meyer Werft pada tahun 1995. Aplikasi difokuskan pada *wing bulkheads*, *staircase landings* dan partisi balkon. Nantinya aplikasi meluas ke tangga dan *platforms* di publik area. *Sandwich panel* juga diaplikasikan di dua geladak kabin kapal pesiar Superstar Virgo. Hal ini dapat terjadi setelah uji *fatigue* menyeluruh pada hasil sambungan *sandwich panel* dengan struktur konvensional. Selain itu *I-Core* juga digunakan pada geladak kapal RO-RO yang dibangun oleh MACOR Neptun. *Sandwich panel* dapat menjadi solusi terbaik untuk dinding dan *platform* kapal, menawarkan penghematan ruang dan akurasi tinggi yang dihasilkan dalam mengurangi pekerjaan pelurusan. Manfaat lain yaitu penurunan penggunaan bahan pelapis lantai, insulasi dan pekerjaan panas (Kujala, 2005).

II.1.3. Teori Elastisitas

Kemampuan sebuah benda untuk kembali ke bentuk semula setelah gaya luar yang diberikan kepada benda itu dibebaskan (dihilangkan) disebut elastisitas. Jika sebuah pegas diberi gaya berupa tarikan, maka pegas itu akan mengalami perubahan bentuk yaitu pertambahan panjang. Akan tetapi, jika tarikan pada pegas tersebut dilepas maka pegas tersebut akan kembali ke posisi semula. Sebuah benda tegar yang diubah bentuknya (dideformasi) sedikit akan segera kembali ke bentuk awal ketika gaya tekan atau gaya tarik diiadakan. Benda tegar yang diubah bentuknya melalui batas elastisitasnya tidak akan kembali ke bentuk awalnya ketika gaya diiadakan, melainkan akan berubah bentuk secara permanen. Bahkan jika perubahan bentuknya jauh melebihi batas elastisitasnya, benda tersebut akan patah. Sehingga dari pernyataan diatas dapat disimpulkan bahwa benda plastis akan mengalami perubahan bentuk jika diberi gaya dan akan kembali ke bentuk semula jika gaya yang diberikan sedikit,

namun benda plastis tidak akan kembali keposisi semula setelah gaya dihilangkan jika gaya tersebut melebihi batas elastis benda (Kangin, 2013).

II.1.4. Tegangan

Tegangan memiliki satuan gaya persatuan luas dan dilambangkan dengan huruf Yunani sigma (σ). Secara umum tegangan yang bekerja pada permukaan bidang mungkin seragam diseluruh area atau mungkin berbeda intensitasnya dari satu titik ke titik lainnya. Diasumsikan bahwa tekanan yang bekerja pada penampang Gambar II.2 didistribusikan merata di atas area tersebut. Kemudian resultan dari tekanan tersebut harus sama besarnya dengan tegangan dikali penampang melintang A dari batang (Gere, 2004).

Hal ini disederhanakan untuk mewakili tegangan, mewakili kuantitas vektor untuk banyak perhitungan teknik dan penentuan sifat material. Kata vektor biasanya mengacu pada kuantitas yang memiliki besar dan arah. Misalnya, tekanan pada bar yang digerakkan secara aksial sama dengan gaya yang diberikan dibagi dengan luas penampang batang (NDT Resource Center, 2014).

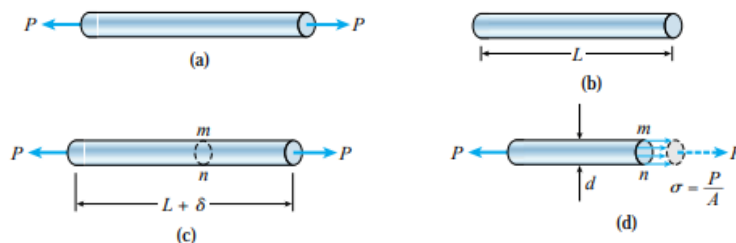
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{II.1})$$

Dimana: F= Gaya (N)

A= Luas Penampang (m^2)

σ = Tegangan (N/m^2 atau Pascal)

Apabila gaya tersebut menyebabkan pertambahan panjang benda, maka disebut tegangan *tensile*. Jika gaya menyebabkan berkurangnya panjang benda maka tegangan tersebut disebut tegangan kompresional. Terdapat berbagai macam jenis tegangan meliputi tegangan normal, tegangan puntir, tegangan tarik, tegangan tekan dan tegangan lengkung (Haryadi, 2008).



Gambar II.2. (a) Free body diagram batang (b) batang sebelum pembebanan (c) batang setelah pembebanan (d) tegangan normal pada batang (Gere, 2004)

II.1.5. Regangan

Regangan adalah respon dari sebuah material yang diberi tegangan. Ketika material diberi gaya, material tersebut akan menghasilkan tegangan, yang kemudian menyebabkan material menjadi rusak atau berubah bentuk. Regangan secara teknik didefinisikan sebagai deformasi pada bidang yang diberikan gaya dibagi dengan panjang awal material. Contohnya adalah tegangan diberikan pada batang yang sedang diregangkan adalah jumlah perpanjangan atau perubahan panjang dibagi dengan panjang aslinya. Seperti pada kasus tegangan, distribusi regangan dapat atau tidak dapat merata pada struktur elemen yang kompleks, tergantung pada sifat kondisi pembebanan (NDT Resource Center, 2014).

$$\text{Strain} = e = \frac{\text{Elongation}}{\text{Original Length}} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (\text{II.2})$$

Dimana: e = regangan

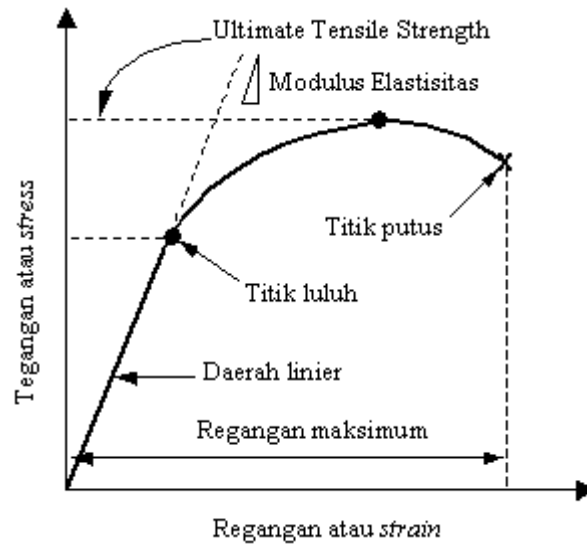
ΔL = Pertambahan panjang (m)

L_0 = Panjang awal (m)

Jika tegangan yang diberikan kecil, material mungkin hanya akan meregang sebentar dan akan kembali ke bentuk semula setelah tegangan dilepaskan. Ini disebut deformasi elastis, karena seperti keadaan elastis yang akan kembali ke keadaan tanpa tekanan. Deformasi elastis hanya terjadi pada material bila tegangan lebih rendah dari pada tegangan kritis yang disebut kuat luluh (*yield strength*). Jika material diberi beban sehingga melebihi batas elastisitas material tersebut, material akan tetap pada kondisi cacat setelah beban dilepaskan. Hal ini disebut deformasi plastis (NDT Resource Center, 2014).

II.1.6. Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan antara tegangan dan regangan suatu material diperlihatkan melalui kurva yang disebut kurva tegangan-regangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.3. Nilainya berbeda untuk setiap material dan untuk mendapatkan kurva tersebut dilakukan pengujian dengan mencatat nilai dari deformasi (regangan) pada interval tarik yang berbeda atau *compressive loading* (tegangan). Kurva ini menunjukkan bayang sifat material (termasuk data untuk mendapatkan modulus elastisitas, E) (Luebckeman, 2012).



Gambar II.3. Kurva Tegangan Regangan
(Haryadi, 2008)

II.1.7. Tegangan *Von Mises*

Menurut Houque (2016), tegangan *von mises* merupakan gabungan dari semua tegangan (tegangan geser dan tegangan normal pada tiga arah) yang bereaksi pada titik tertentu. Tegangan *von mises* berguna untuk bahan yang tergolong ulet (*ductile*). Jika tegangan *von mises* di titik tertentu melebihi kekuatan luluh (*yield strength*), maka material akan mengalami kegagalan (putus) pada titik tersebut. Kriteria kegagalan menyatakan bahwa tegangan *von mises* σ_{VM} harus kurang dari tegangan luluh (*yield stress*) σ_y dari material. Rumus yang digunakan untuk mendapatkan kriteria *von mises* adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{VM} \leq \sigma_y$$

Tegangan *von mises* σ_{VM} didapat dari

$$\sigma_{VM} = \sqrt{I_1^2 - 3I_2} \quad (II.3)$$

dimana I_1 dan I_2 adalah

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z \quad (II.4)$$

$$I_2 = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{xy}^2 \quad (II.5)$$

II.1.8. *Safety Factor* dan Tegangan Izin

Kegagalan suatu struktur dapat dihindari dengan mengusahkan beban penyangga struktur harus lebih besar dari pada beban luar yang mengenainya. Karena kekuatan adalah kemampuan suatu struktur untuk dapat menahan beban, maka kriteria suatu struktur kuat adalah sebagai berikut:

- Kekuatan sebenarnya harus melebihi kekuatan yang diizinkan.
- Rasio kekuatan sebenarnya dengan kekuatan izin disebut faktor keamanan (n).

$$\text{Faktor Keamanan } (n) = \frac{\text{Kekuatan Sebenarnya}}{\text{Kekuatan Izin}} \quad (\text{II.6})$$

Nilai dari faktor keamanan harus lebih besar dari 1,0 agar kegagalan dapat dihindari. Penentuan faktor keamanan juga harus berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tertentu seperti, jenis beban (statis atau dinamis), apakah beban berulang atau tidak, kerusakan akibat korosi atau efek lingkungan lain, keakuratan dalam perhitungan dan analisis kekuatan konstruksi, seberapa akurat besar beban yang diketahui, apakah kegagalan terjadi bertahap atau mendadak dan pertimbangan lainnya. Jika faktor keamanan sangat rendah, kemungkinan kegagalan akan tinggi dan struktur tidak dapat diterima. Jika faktor keamanan terlalu besar, struktur tersebut akan boros bahan dan mungkin tidak sesuai untuk fungsinya (misalnya, terlalu berat). Karena kompleksitas dan ketidakpastian ini, faktor keamanan harus ditentukan secara probabilistik.

Faktor keamanan didefinisikan dan diimplementasikan dengan banyak cara. Sangat penting agar material tetap berada di *range elastic linier* guna menghindari deformasi ketika sudah tidak dikenai beban oleh karena itu, faktor keamanan digunakan untuk mengukur kemampuan struktur luluh (*yielding*) yang terjadi saat tegangan luluh (*yield stress*) tercapai pada setiap titik di dalam struktur. Karena itu, dengan menerapkan faktor keamanan, didapatkan nilai tegangan yang bekerja pada struktur tersebut tidak boleh melebihi tegangan yang diizinkan.

$$\text{Tegangan Izin} = \frac{\text{Kuat Luluh}}{\text{Faktor Keamanan}} \quad (\text{II.7})$$

Atau untuk tegangan dan *shear*,

$$\sigma_{izin} = \frac{\sigma_y}{n_1} \text{ dan } \tau_{izin} = \frac{\tau_y}{n_2} \quad (II.8)$$

Dimana σ_y dan τ_y adalah tegangan luluh, n_1 dan n_2 adalah nilai faktor keamanan (Gere, 2004).

II.1.9. Metode Elemen Hingga

Metode Elemen hingga (FEM) adalah metode numerik untuk memecahkan masalah teknik dan fisika matematika. Bidang masalah yang khas termasuk analisis struktural, perpindahan panas, aliran fluida, *mass transport* dan potensi elektromagnetik. Solusi analitis dari masalah ini umumnya diperlukan untuk mendapat nilai batas pada permasalahan diferensial parsial. Perumusan metode elemen hingga dari suatu masalah menghasilkan sistem persamaan aljabar. Untuk masalah-masalah yang mengandung kompleksitas pada geometri, beban dan sifat-sifat material, secara umum tidak mungkin untuk diselesaikan secara analitik oleh karena itu penyelesaian dari masalah tersebut dapat menggunakan metode elemen hingga (Logan, 2007).

Penyelesaian yang didapat untuk masalah struktur adalah deformasi (*displacement*) pada setiap titik (*nodes*) yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan besaran-besaran regangan (*strain*) dan tegangan (*stress*). Intinya, metode ini adalah membagi suatu bangun geometri menjadi elemen-elemen yang jumlahnya tak terhingga. Elemen-elemen tersebut berupa garis, segitiga, segiempat baik 2 dimensi atau 3 dimensi. Pembagian elemen-elemen ini akan menghasilkan suatu struktur jaringan yang terdiri dari node dan elemen. Keunggulan dari metode ini adalah memberikan solusi sangat efisien dan cukup akurat. Pemilihan tipe elemen diutamakan bergantung pada tujuan dari analisis. Karakteristik dari elemen yang dipilih harus dapat merepresentasikan secara akurat kondisi alami dari sebuah struktur dan tegangan yang akan dianalisis. Ketika melakukan analisis tegangan, pengetahuan terkait karakteristik elemen harus memadai mengingat karakteristik elemen adalah sebuah prasyarat dari suatu pengerjaan analisis struktur (BKI, 2005).

Terdapat beberapa langkah umum dalam merumuskan analisis elemen hingga seperti analisis masalah fisik, baik struktural, aliran fluida, perpindahan panas dan lain-lain. Langkah-langkah ini biasanya terdapat pada *software* elemen hingga. Ada tiga langkah utama, yaitu:

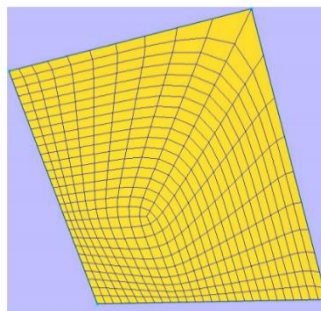
- *Preprocessing* yaitu mendefinisikan model. Langkah ini merupakan langkah yang sangat penting dalam melakukan analisis elemen hingga. Langkah ini termasuk menentukan

domain geometrik, jenis elemen yang digunakan, sifat material (*material properties*) dari elemen, sifat geometris elemen (panjang, luas dan sejenisnya), elemen konektivitas (*mesh model*), batasan (*boundary conditions*) dan pembebanan (Hutton, 2004).

- Langkah selanjutnya adalah *solution*, dalam langkah ini persamaan aljabar diatur dalam bentuk matriks dan menghitung nilai variabel utama yang sudah disusun. Hasil perhitungan kemudian digunakan untuk menentukan tambahan, variabel turunan, seperti reaksi gaya, tegangan elemen dan aliran panas (Cook, 1995)
- Langkah terakhir adalah *postprocessing*, analisis dan evaluasi hasil. Contoh operasi yang dilakukan meliputi, menghitung faktor keamanan, plot bentuk deformasi struktur, memodelkan perilaku dinamis model dan menghasilkan plot suhu dengan kode warna (Hutton, 2004).

II.1.10. *Meshing*

Kunci metode elemen hingga untuk perhitungan numerik adalah *meshing* atau *mesh generation*. *Meshing* merupakan proses mendesain suatu model yang menghasilkan *polygonal* atau *polyhedral mesh* yang mendekati domain geometris. Dalam proses ini elemen harus didefinisikan dan dibagi secara baik dan benar. Terdapat beberapa bagian domain yang memerlukan elemen kecil sehingga perhitungan akan menjadi lebih akurat (Hoque, 2016). Berikut adalah bentuk *meshing* dapat dilihat pada Gambar II.4.



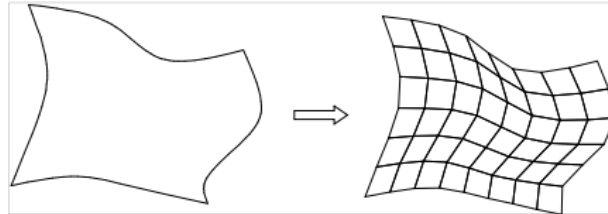
Gambar II.4. Contoh *Meshing*
(Luiz, 2014)

Berdasarkan sudut pandang bagaimana elemen bertemu, mesh dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. *Structured Mesh*

Sebuah *mesh* terstruktur dapat dikenali dari simpul *node* yang memiliki jumlah elemen berdekatan yang sama. *Node* yang dihasilkan pada struktur ini berbentuk *quad* atau

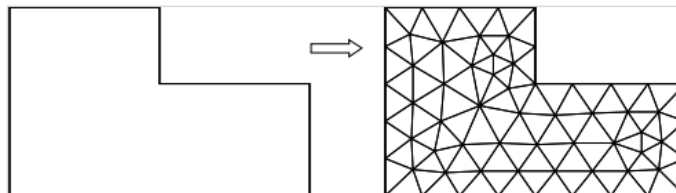
hexahedral. *Structured mesh* umumnya paling banyak digunakan dalam bidang CFD. Gambar II.5 menunjukkan *structured mesh* 2D.



Gambar II.5. 2D Structured Mesh
(Luiz, 2014)

2. *Unstructured Mesh*

Unstructured Mesh adalah *meshing* yang memiliki pola tidak teratur. Dapat dilihat pada Gambar II.6. Bentuknya dapat berupa segitiga atau tetahedral. Selain segitiga dan tetahedral, elemen lain yang biasa digunakan adalah elemen segiempat (*4-noded*) dan hexahedral (*8-noded*) baik dalam bentuk 2D ataupun 3D.



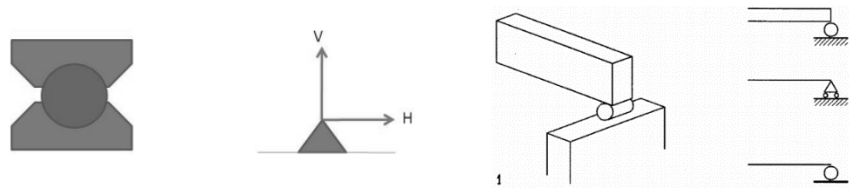
Gambar II.6. 2D Unstructured Mesh
(Luiz, 2014)

II.1.11. Jenis Tumpuan

Tumpuan merupakan alat yang digunakan untuk menyangga suatu konstruksi dan tempat bekerjanya reaksi. Terdapat berbagai jenis tumpuan tergantung konstruksi yang disangganya, sebab setiap jenis tumpuan memiliki karakteristik masing-masing. Berikut merupakan macam-macam jenis tumpuan:

1. Sendi/ Engsel

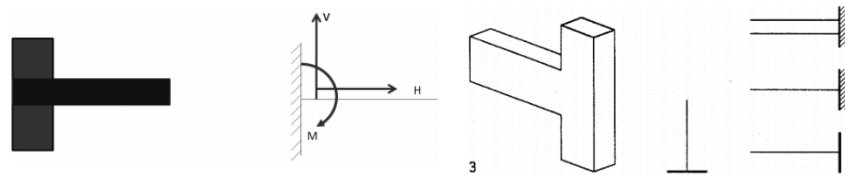
Merupakan jenis tumpuan untuk menahan gaya tekan, tarik dengan arah yang sembarang melalui pusat sendi. Proyeksinya berupa reaksi vertikal dan horizontal serta tidak dapat menahan momen atau meneruskan momen.



Gambar II.7. Tumpuan Sendi
(Rahmi, 2014)

2. Rol

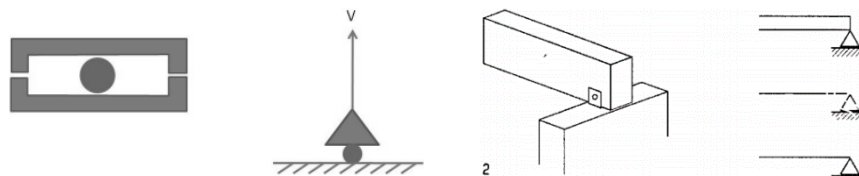
Rol adalah tumpuan yang tidak dapat menahan gaya tarik dan tekan sembarang arah, hanya arah vertikal.



Gambar II.8. Tumpuan Rol
(Rahmi, 2014)

3. Jepit

Salah satu jenis tumpuan yang dapat menahan gaya tekan dan tarik sembarang arah. Selain itu, dapat meneruskan momen. Tumpuan ini diproyeksikan atas reaksi vertikal, horizontal dan momen.



Gambar II.9. Tumpuan Jepit
(Rahmi, 2014)

Tiga jenis tumpuan yang telah dijelaskan diatas merupakan jenis-jenis tumpuan yang sering dijumpai dalam suatu konstruksi bangunan. Selain itu juga terdapat jenis tumpuan lain seperti gesek, bidang rata, tali pendel dan titik (Rahmi, 2014).

II.1.12. Baja A36

Baja adalah salah satu logam yang sering digunakan untuk aplikasi pada struktur. Hal ini dikarenakan baja adalah logam yang kuat, keras, *ductile*, dapat dibentuk dan dilas. Ada banyak sekali jenis baja yang tersedia yang memiliki karakteristik kimia dan *mechanical*

properties yang berbeda-beda. Salah satunya adalah baja A36. Baja A36 dibuat dengan cara yang mirip dengan baja karbon. Pertama, bijih besi dan batubara dibakar dalam tungku. Selanjutnya elemen paduan ditambahkan ke baja cair. Setelah komposisi kimia dari baja A36 tercapai, baja dipadatkan menjadi ingot persegi panjang. Baja A36 banyak digunakan pada berbagai macam proses produksi seperti punching, grinding, tapping, permesinan dan drilling karena baja A36 memiliki *weldability* yang sangat baik. Baja A36 lebih mudah untuk dibentuk karena memiliki nilai *yield strength* yang lebih rendah dibandingkan *Cold Rolled Steel* C1018 (54.000 psi). Komposisi kimia yang terdapat dalam Baja A36 ditunjukkan pada Tabel II. ASTM A36 biasa digunakan dalam bentuk seperti *Rectangle bar*, *Circular rod*, *Square bar*, *H-beams* and *I-beams* (ASME Sect.II A, 2017).

Tabel II.1. Komposisi Kimia Baja A36

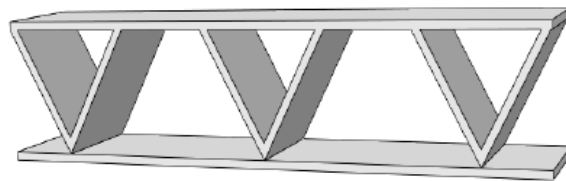
<i>Element</i>	<i>Content</i>
Carbon, C, max, %	0.25%
Copper, Cu, min, %	0.2%
Iron, Fe	98%
Manganese, Mn, %	0.8%
Phosphorus, P, max, %	0.03%
Silicon, Si, %	0.4%
Sulfur, S, max, %	0.03%

Baja A36 dikelompokkan menjadi tiga jenis berdasarkan kandungan karbon yang ada pada baja. Baja dengan kadar karbon 0.30 % memiliki struktur yang terdiri dari ferrit dan sedikit perlit, sehingga baja ini kekuatannya relatif rendah dan lunak tetapi keuletannya tinggi. Baja ini disebut Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel/ Mild Steel*). Baja ini tidak dapat dikeraskan, kecuali dengan pengerasan permukaan. Baja karbon dengan kadar 0.30-0.70% dengan kandungan ferrit dan kandungan perlit yang lebih banyak disebut baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*). Baja jenis ini lebih keras, kuat dan dapat dikeraskan tetapi getas. Baja karbon dengan kadar 0.70% lebih kuat dan keras dari dua baja sebelumnya disebut baja karbon tinggi (*High carbon Steel*) merupakan jenis baja yang paling kuat dan keras tetapi keuletan dan ketangguhannya paling rendah. Semakin besar kandungan karbonnya maka material akan semakin kuat tetapi ketangguhannya menurun (ASME Sect.II A, 2017).

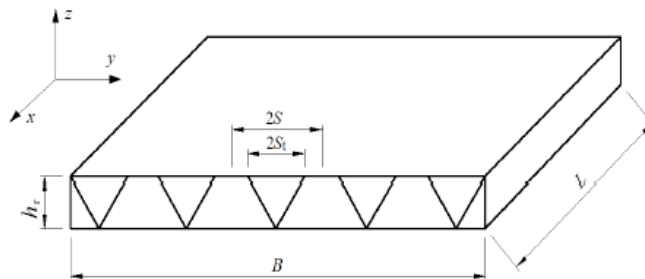
II.2. Tinjauan Pustaka

II.2.1. V-Core Sandwich Panel

Menurut jurnal yang ditulis oleh Wang Yamin dan Shao Yongho mengenai “*Prediction on Deflection of V-core Sandwich Panels in Weak Direction*” *v-core sandwich panel* seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.10 terdiri dari dua pelat baja yang saling berhadapan dan serangkaian inti berupa penegar yang berbentuk V. Beberapa definisi diberikan pada Gambar II.11 dan Gambar II.12 untuk menggambarkan *v-core sandwich panel* lebih jelas yaitu arah *v-core* dari sumbu X yang disebut arah yang kuat, sumbu Y disebut arah yang lemah karena kekakuan geser pada arah ini lebih rendah disebabkan adanya celah atau rongga diantara dua *v-core*. Jarak antara dua *v-core* yang berdekatan dilambangkan dengan $2(S-St)$, sedangkan jarak antar bukaan *v-core* adalah $2St$. Jarak antar pelat (*face plate*) nya sendiri disebut H_f . Untuk ketebalan *face plate* disebut tp dan ketebalan *core/ web* disebut tc .



Gambar II.10. V-Core Sandwich Panel
(Yamin, 2013)



Gambar II.11. Arah V-Core Sandwich Panel
(Yamin, 2013)

Menurut hasil penelitian Wang Yamin dan Sao Yongbo, untuk mendapatkan desain *v-core sandwich panel* yang baik maka terdapat batasan-batasan yang perlu diperhatikan seperti:

1. Pengaruh rasio ketebalan t_c/t_p

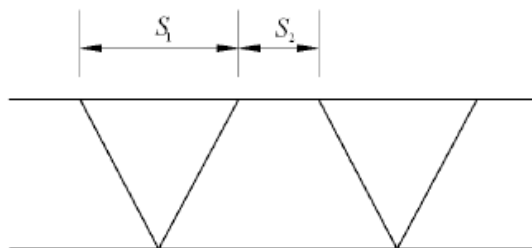
Menurut Yamin (2013), untuk mendapatkan desain *v-core sandwich panel* yang akurat maka rasio t_c/t_p tidak boleh kurang dari 1. Karena jika rasio ini lebih kecil, persamaan teoritis belum cukup akurat untuk memprediksi defleksi yang terjadi. Semakin kecil rasionya defleksinya akan semakin besar.

2. Pengaruh rasio S_t/H_f

Setelah dilakukan penelitian, ditemukan bahwa defleksi akan semakin meningkat jika nilai rasio S_t/H_f lebih dari 3. Sehingga rasio yang baik dalam menentukan ukuran S_t dan H_f adalah dengan rentang rasio perbandingan dari $0,5 < S_t/H_f < 3$.

3. Pengaruh rasio S_2/H_f

Nilai S_2/H_f berkisar antara 0,3 sampai dengan 1. Nilai ini cukup akurat untuk menghitung defleksi balok *v-core sandwich panel*. Setelah dilakukan perhitungan secara teoritis maupun dengan metode elemen hingga, desain akan buruk jika nilai rasio lebih dari 1 atau kurang dari 0,3. Jadi $0,3 < S_2/H_f < 1$ merupakan kisaran validitas yang sesuai dengan rentang kesalahan tidak lebih besar dari 10%.



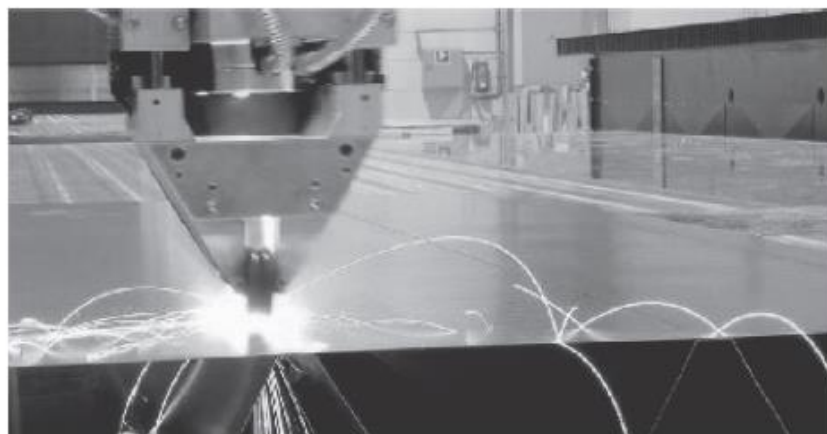
Gambar II.12. Dimensi V-Core Sandwich Panel
(Yamin, 2013)

II.2.2. Produksi Sandwich Panel

Sebenarnya penelitian mengenai komponen *sandwich panel* yang dapat diaplikasikan diberbagai macam indsutri telah dilakukan pada awal tahun 1950-an. Tetapi pada waktu itu belum ada alat yang dianggap mampu untuk memproduksi *sandwich panel* maka *sandwich panel* baru dikembangkan lagi setelah *laser welding* tersedia di pasaran dengan harga yang lebih terjangkau. Akibat menghasilkan intensitas energi yang tinggi dengan input panas yang rendah dan efek penetrasi yang dalam, *laser welding* menawarkan sejumlah manfaat untuk

produksi *sandwich panel*. *Sandwich panel* secara umum dapat diklasifikasikan sebagai panel *sandwich* komposit dan panel *sandwich* metalik. *Sandwich panel* komposit terdiri dari komponen non-logam seperti FRP, *polyuretan* busa dan lain-lain. Biasanya diterapkan sebagai struktur pembawa muatan di kapal angkatan laut, kapal pesiar dan *leisure yachts*. *Metallic sandwich panel* pada dasarnya terdiri dari dua jenis panel yaitu panel dengan *face plate* yang disatukan dengan inti seperti SPS dan panel yang baik *face plate* dan intinya di las secara bersamaan. Bahan logam dapat berupa *high tensile*, *stainless steel* atau *aluminium alloys*. Penjelasan selanjutnya akan lebih difokuskan untuk produksi *steel sandwich panel* (Kujala, 2005).

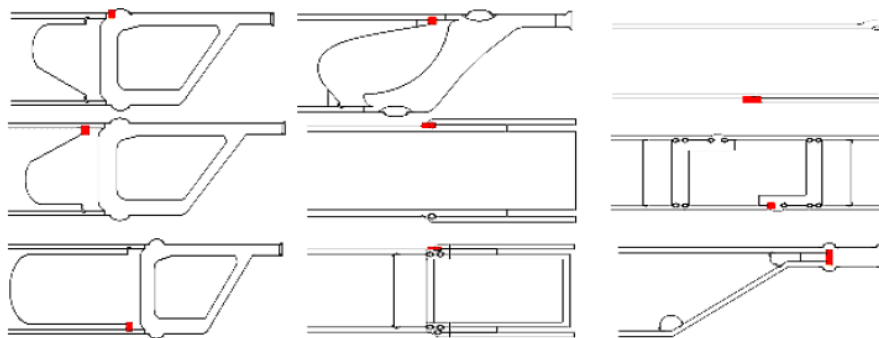
Sandwich panel dapat diproduksi dengan berbagai macam tipe *core*. Pilihan *core* atau inti disesuaikan dengan penggunaannya. Bentuk *Core* yang standar digunakan adalah bentuk Z, tabung dan *hatprofile* dimana lebih mudah untuk didapatkan dan lebih akurat dalam proses pengelasan yang menggunakan laser (*laser welding*). *Core* khusus seperti *I-Core* dan panel tipe V membutuhkan peralatan khusus untuk dapat diproduksi, tetapi biasanya akan menghasilkan panel yang paling ringan. Penggunaan *laser welding* untuk memproduksi *sandwich panel* dapat memberikan keuntungan seperti penghematan berat dan memproduksi kualitas geometri hasil las yang sangat baik. Pra-fabrikasi panel *sandwich* secara komersial diproduksi oleh perusahaan di Finlandia. Seperti terlihat pada Gambar II.13. Kemampuan produksi untuk *sandwich panel* adalah 8 kW laser, 15 kW dan satu 12 kW laser. Ukuran maksimal panel 4 m x 17 m dengan ketebalan pelat sampai 6 mm dan tinggi panel mencapai 500 mm (Kujala, 2005).



Gambar II.13. Laser Welding pada Sandwich Panel
(Kujala, 2005)

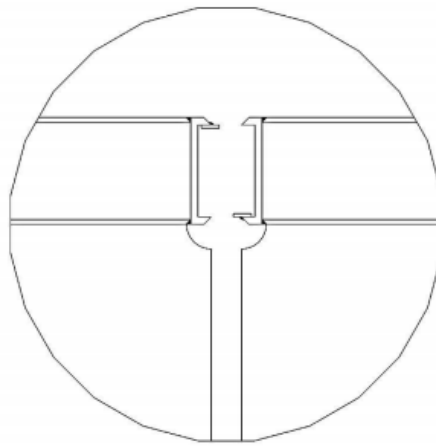
II.2.3. Penyambungan Panel-Panel *Sandwich*

Metode penyambungan panel-panel *sandwich* dengan material keseluruhan yang terdiri dari metal (baja/ aluminium) dapat dilakukan dengan cara, pengelasan, penyambungan dengan mesin, menggunakan bahan *adhesive* dan penyambungan campuran. Penyambungan dengan pengelasan adalah tipe penyambungan *sandwich* yang paling banyak digunakan di industri maritim. Penyambungan dengan mesin dan bahan *adhesive* masih dilakukan penelitian dan terbatas pada aplikasi tertentu. Ketika mendesain sambungan panel *sandwich*, pendesain harus menentukan secara pasti kondisi batas dari struktur yang akan disambungkan. Hal ini penting karena panel yang dipasang secara melintang memiliki tegangan yang lebih rendah dari pada panel yang dipasang memanjang. Perlu dipertimbangkan dalam hal pemasangan apakah panel *sandwich* dapat dilas kedua sisinya dan apakah salah satu sisinya memerlukan permukaan yang halus. Solusi untuk penyambungan antar panel *sandwich* adalah dengan *symmetric joints*. Jenis sambungan ini dapat menjadi solusi agar tegangan dapat didistribusikan secara merata. Pemasangan ini memerlukan pengelasan dikedua sisinya. Gambar II.14. menunjukkan macam-macam sambungan yang dapat digunakan. Lokasi titik kritis tegangan ditandai dengan warna merah. Posisi titik kritis tegangan tergantung terutama pada sambungan geometrinya yang biasanya ditemukan pada bagian las-lasan (SANDCORE, 2013).



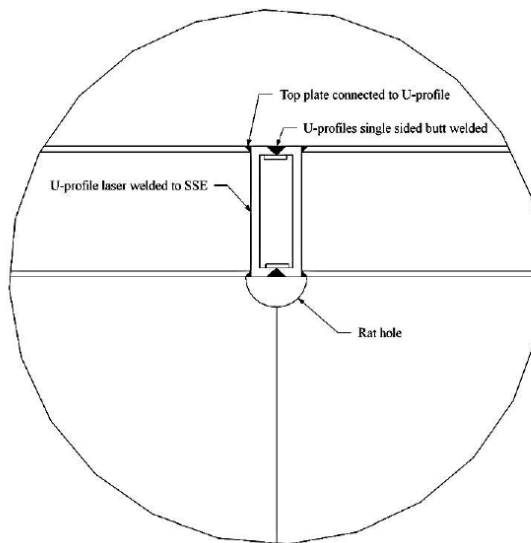
Gambar II.14. Macam-macam Sambungan Geometri untuk Las Laser Panel *Sandwich*
(SANDCORE 2013)

Salah satu metode penyambungan antar panel menggunakan profil U dimana letak sambungan ini tergantung oleh penempatan *designer*. Bagian penampang yang akan disambungkan dibuat sebelumnya (prefabrikasi) untuk mengurangi pengelasan di tempat. Sambungan panel *sandwich* dengan profil U dapat dilihat pada Gambar II.15.



Gambar II.15. Sambungan Panel *Sandwich* Berbentuk Profil U
(Adolfson, 2016)

Profil U di sambungan pada panel *sandwich* dengan dilas laser pada bagian *core* untuk mendapatkan interaksi penuh. Untuk mempermudah proses *assembly* dan pengelasan *single sided butt*, pada profil U sudah dilakukan pengelasan *fillet* dengan backing *bar* pada bagian akar.



Gambar II.16. Pengelasan Sambungan Panel *Sandwich* Berbentuk Profil U
(Adolfson, 2016)

Penggabungan dua panel dengan melakukan pengelasan *butt joint* pada profil U dimana profil U akan berfungsi sebagai rigid *frame* untuk mencegah efek pembebanan yang terjadi pada panel *sandwich* tanpa harus merubah ukuran pelat atas dan bawah. Bagian yang akan dilas terlihat pada Gambar II.16 (Adolfson, 2016).

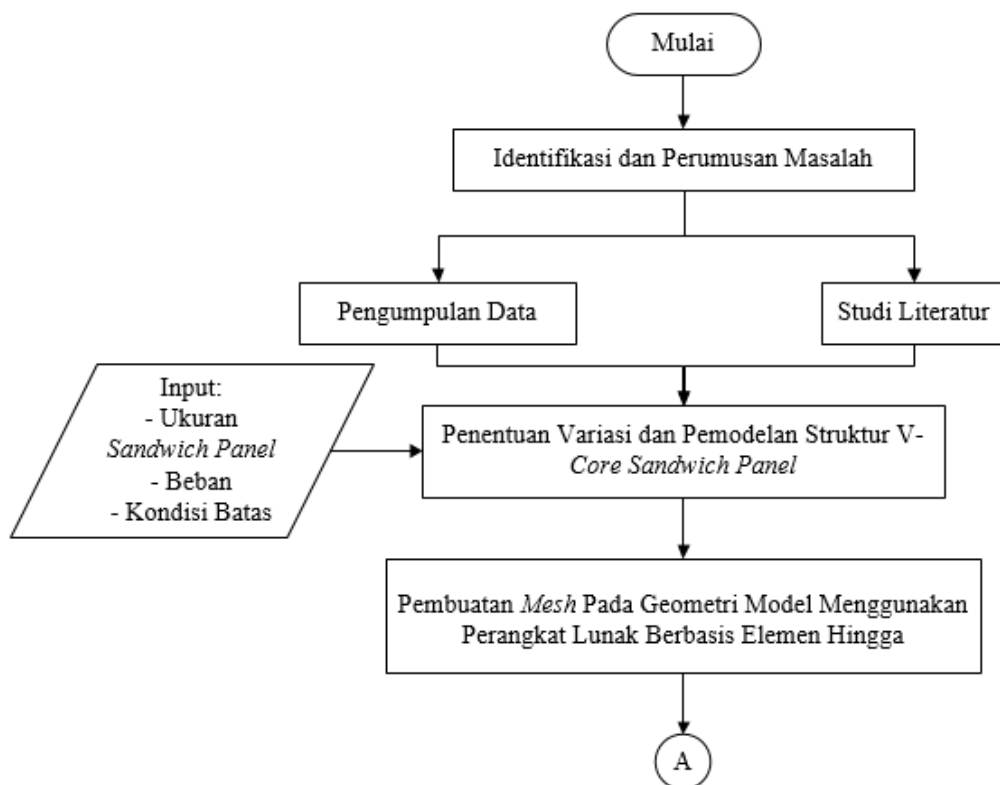
Halaman ini sengaja dikosongkan

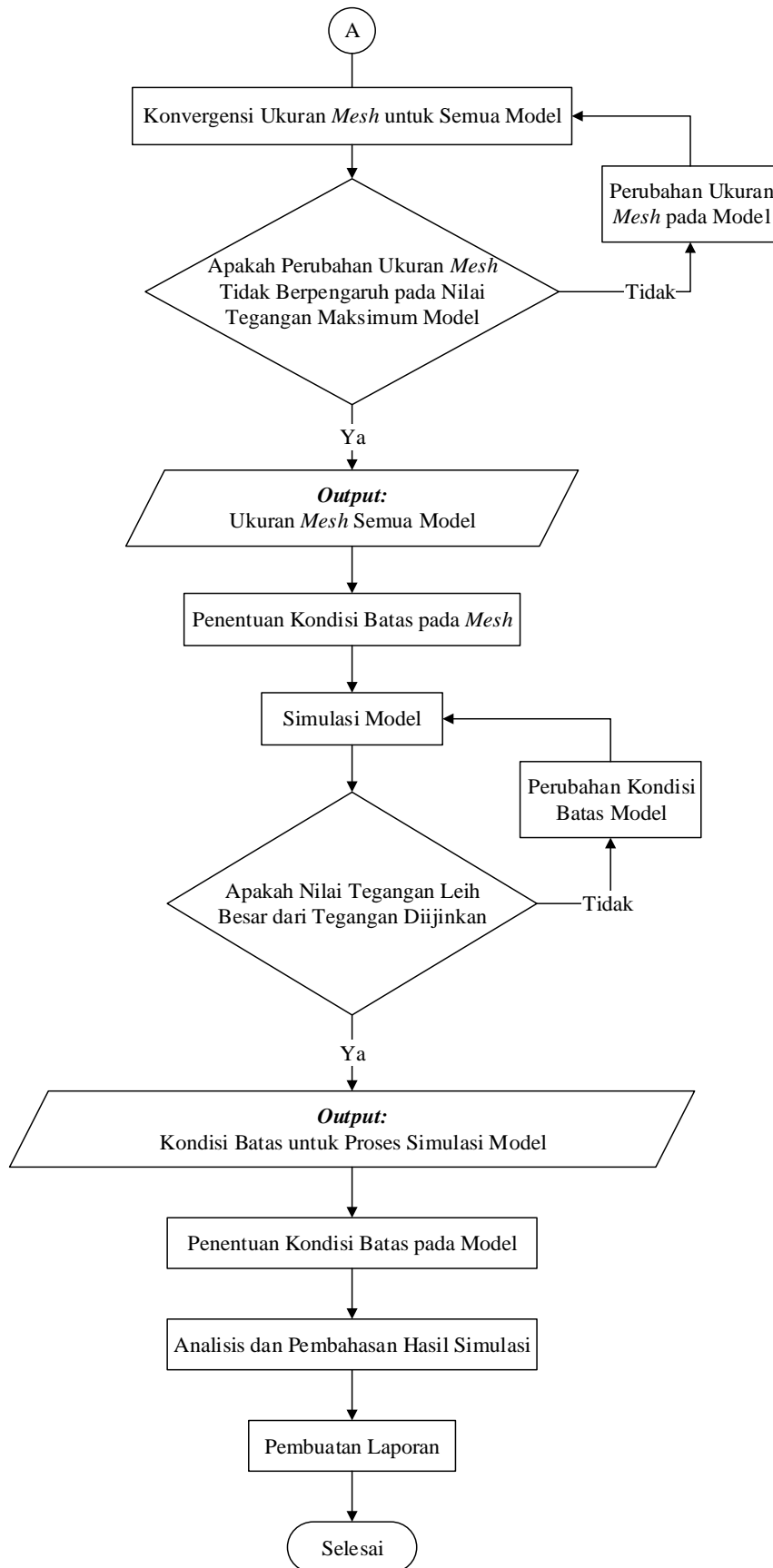
BAB III METODOLOGI

Metodologi penelitian merupakan cara penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir. Sistematika penyelesaian tugas akhir ini diawali dengan identifikasi masalah, perumusan masalah, penentuan tujuan sampai dengan studi literatur. Selanjutnya pada bab ini akan di jelaskan mengenai sistematika pengumpulan data dan bagaimana cara mengolah data tersebut. Metodologi penelitian dilakukan dengan tujuan untuk dapat menjawab permasalahan yang dipertanyakan pada Bab I dan II.

III.1. Diagram Alir

Secara sistematis langkah-langkah pengerjaan tugas akhir disajikan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut:





Gambar III.1. Diagram Alir Proses Pengerjaan Tugas Akhir

III.2. Metode

Seperti yang disinggung pada Bab II, teori-teori terkait digunakan pada proses pengerjaan tugas akhir ini tentunya memiliki cara kerja yang sesuai dengan diagram alir yang sudah dijelaskan pada sub bab III.1.

III.2.1. Studi Literatur

Hal yang dilakukan pertama kali sebelum melakukan penelitian adalah melakukan studi literatur terlebih dahulu. Studi literatur ini berdasarkan buku, jurnal atau laporan hasil penelitian yang telah dilakukan yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Dalam hal ini studi literatur dibagi menjadi dua yaitu dasar teori dan tinjauan pustaka. Dasar teori adalah penjelasan mengenai variabel-variabel yang digunakan pada saat penelitian dilakukan sedangkan tinjauan pustaka merupakan penjelasan mengenai penelitian-penelitian terdahulu yang sudah dilakukan.

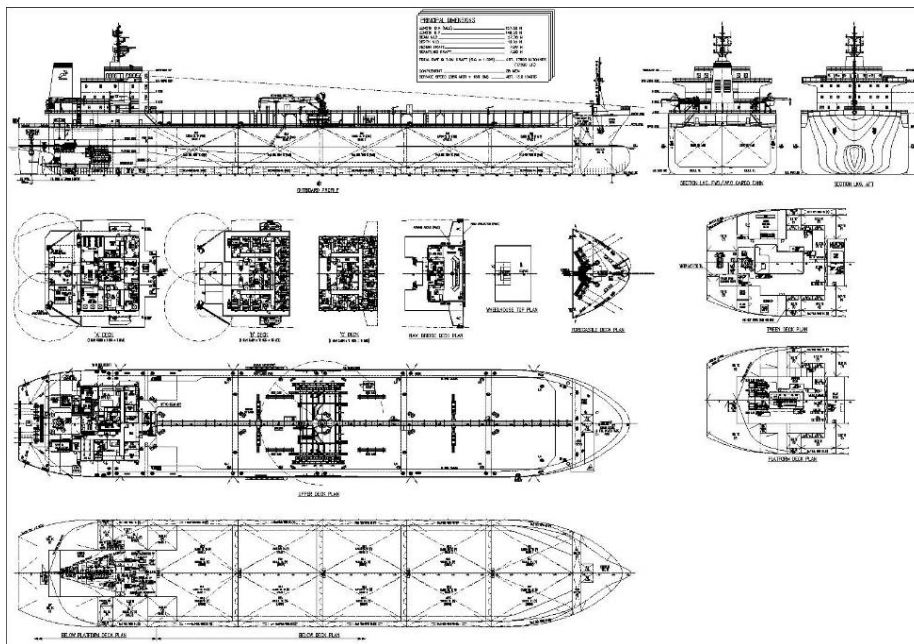
III.2.2. Pengumpulan Data

Proses pengerjaan tugas akhir ini dilakukan dengan memodelkan dan menganalisis geladak kapal sehingga diperlukan data-data pendukung sebagai dasar dalam membuat model. Dalam penelitian ini digunakan data kapal Tanker 17500 *Double Hull* LTDW. Adapun ukuran utama dari kapal tersebut dijelaskan pada Tabel III.1.

Tabel III.1. Ukuran Utama Kapal Tanker 17500 *Double Hull* LTDW

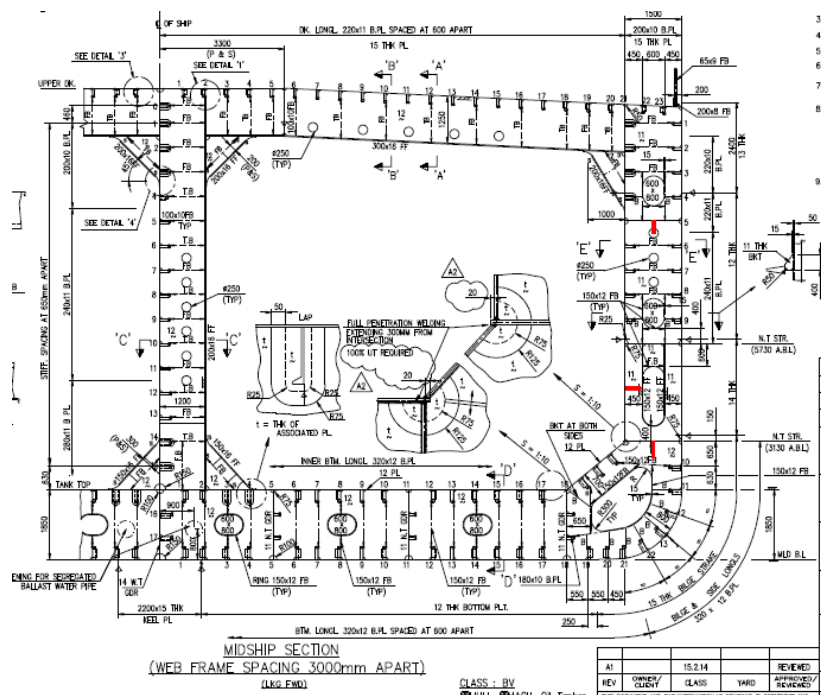
Principal Dimensions		
Rule Length (L)	149,76	m
Breadth (B)	27,7	m
Depth (D)	12	m
Draft (d)	7	m
Block Coefficient ($C_b = \nabla / LBD$)	0,82	

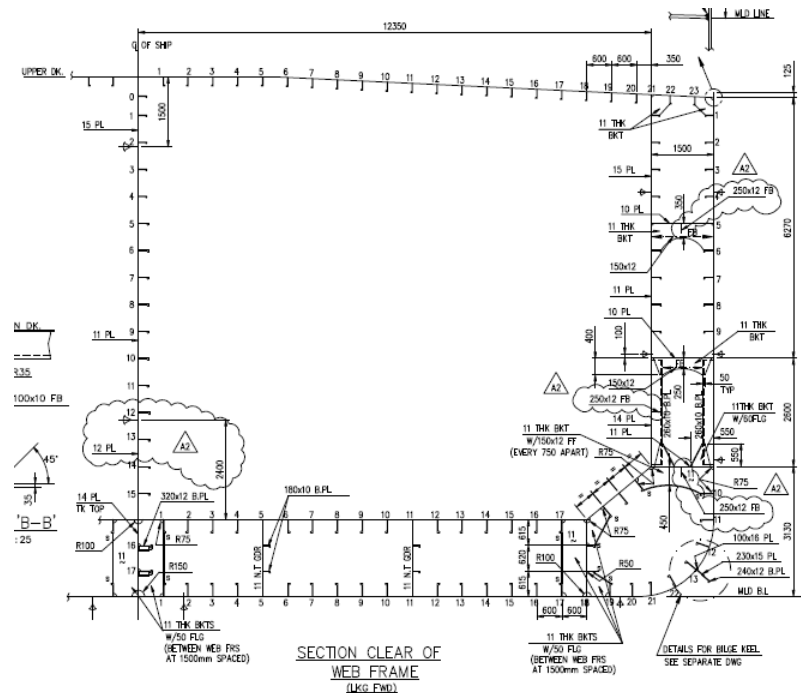
Selain data ukuran utama kapal, diperlukan juga data gambar rencana umum seperti yang ditunjukkan pada Gambar III.2 dan detail penampang melintang dari kapal tersebut ditunjukkan pada Gambar III.3. Rencana umum diperlukan untuk menentukan panjang model geladak yang akan dibuat. Model yang akan dibuat pada penelitian ini ditentukan sepanjang 17.4 m. Diambil dari jarak antar sekat melintang.



Gambar III.2. Gambar Rencana Umum Tanker 17500 LTDW

Selanjutnya diperlukan data penampang melintang pada bagian *midship* Tanker 17500 LTDW. Gambar ini diperlukan untuk melihat detail konstruksi yang terdapat pada bagian geladak. Diambil lebar geladak dari *inner hull* sampai dengan sekat memanjang yaitu sepanjang 12,5 m. Bagian yang akan dimodelkan adalah pelat geladak dan penegar sepanjang 17,4 m.





Gambar III.3. Gambar Penampang Melintang Tanker 17500 LTDW

Penampang melintang kapal yang ditunjukkan pada Gambar III.3 diperlukan pada saat dilakukan pemodelan menggunakan *software* elemen hingga yaitu untuk melihat sistem konstruksi yang digunakan secara lebih jelas dan terperinci khususnya pada konstruksi geladak kapal yang dijadikan sebagai studi kasus pada penelitian tugas akhir ini. Terlihat pada Gambar III.3 kapal tanker menggunakan sistem konstruksi memanjang. Detail konstruksi yang akan dimodelkan beserta ukuran model dapat ditunjukkan seperti pada Tabel III.2:

Tabel III.2. Detail Konstruksi dan Ukuran Utama Model

Konstruksi	Deskripsi	Ukuran (mm)
Pelat	Panjang	17400
	Lebar	12500
	Ketebalan	15
Profil L		221x11x43x22
Profile T		1250x330x16

III.2.3. Pemodelan

Pemodelan geladak kapal berpenegar dan geladak dengan *v-core sandwich panel* dibuat dengan *software* elemen hingga. Model dibuat sedemikian rupa hingga mendekati aslinya

dengan tahapan penentuan tipe analisis sampai penentuan kriteria tegangan yang sesuai. Tahapan-tahapan tersebut akan dijelaskan secara detail pada Bab IV.

III.2.4. Konvergensi

Menurut Sanjaya (2017), konvergensi bertujuan untuk mengecek ketepatan hasil analisis dari *software* elemen hingga. Konvergensi adalah salah satu cara menentukan ukuran elemen yang sesuai pada saat pemodelan sehingga model yang dibuat dapat menghasilkan nilai tegangan yang valid. Konvergensi dilakukan dengan menganalisa nilai tegangan sehingga dihasilkan nilai tegangan yang mendekati konstan dengan ukuran elemen yang berbeda. Detail konvergensi model akan dijelaskan pada Bab IV.

III.2.5. Analisis Tegangan

Analisis tegangan pada model baik model geladak berpenegar dan model geladak dengan *v-core sandwich panel* dilakukan dengan membandingkan tegangan izin material baja dengan tegangan hasil analisis oleh *software* elemen hingga. Jika tegangan model melebihi tegangan izin maka desain model perlu ditinjau ulang.

BAB IV

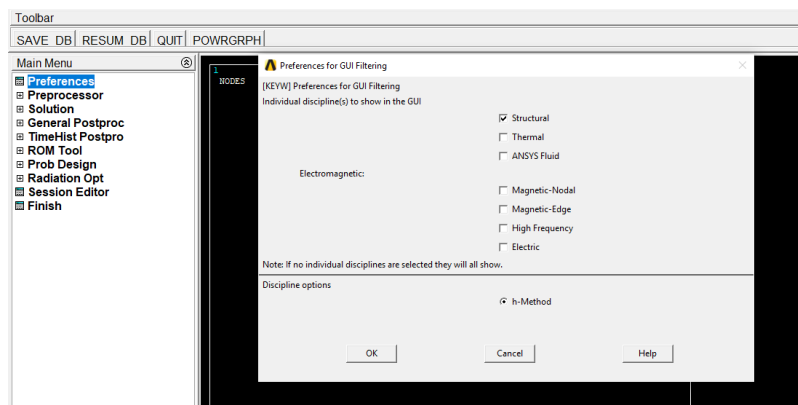
PEMODELAN DAN KONVERGENSI

IV.1. Pemodelan Geladak Berpenegar

Penelitian ini dibuat dengan melakukan analisis menggunakan *software* elemen hingga. Sebelum dilakukan analisis langkah awal membuat model yang akan diteliti adalah sebagai berikut:

IV.1.1. Preferences

Langkah awal dalam mebuat model geladak adalah memilih tipe analisis. Terdapat tiga jenis tipe elemen pada *software* elemen hingga yaitu *structural*, *thermal* dan *fluid*. Berdasarkan ketiga jenis tipe analisis tersebut dipilih tipe analisis struktural seperti yang terlihat pada Gambar IV.1 karena penelitian ini berfokus pada penelitian kekuatan pada struktur geladak kapal.



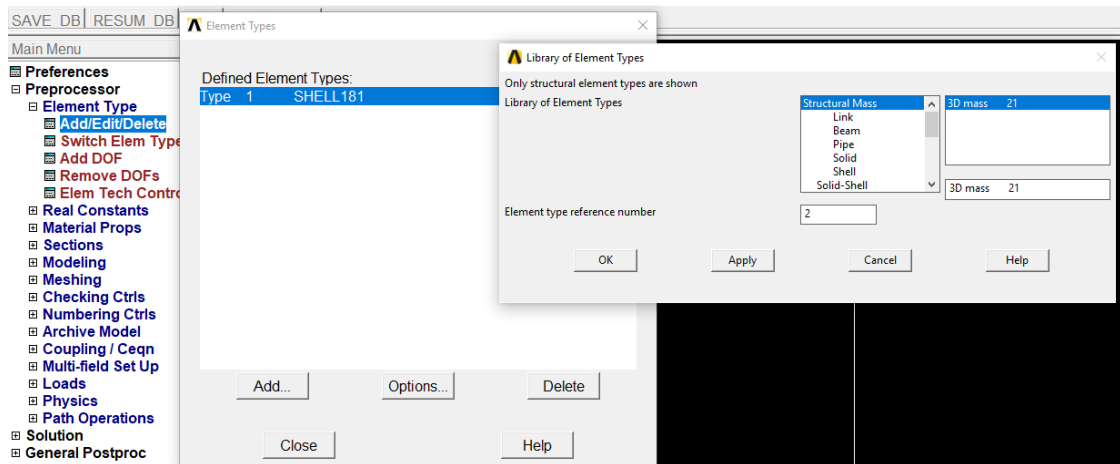
Gambar IV.1. Pemilihan Tipe Analisis

IV.1.2. Preprocessor

Preprocessor merupakan langkah untuk mendefinisikan model. Model yang dibuat harus mewakili kondisi sebenarnya.

a. Tipe Elemen

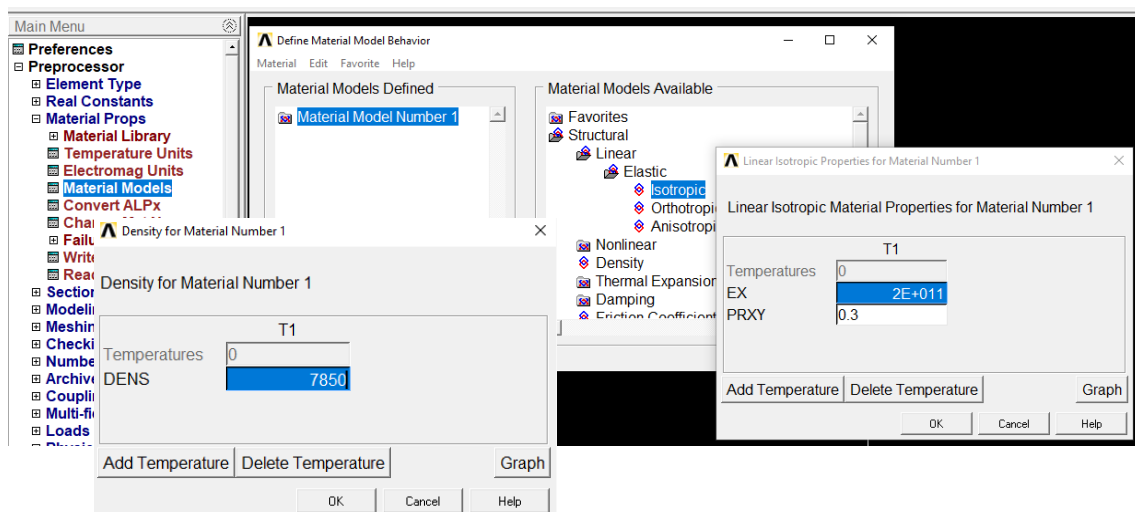
Tipe elemen ditentukan sesuai dengan komponen penyusun konstruksi yang akan dibuat. Konstruksi yang akan dimodelkan pada bagian geladak terdiri dari pelat dan profil yang dimodelkan dalam bentuk 2D sehingga tipe elemen yang dipilih adalah *shell 281*. Proses ini dapat dilihat pada Gambar VI.2.



Gambar IV.2. Pemilihan Tipe Elemen

b. Material Properties

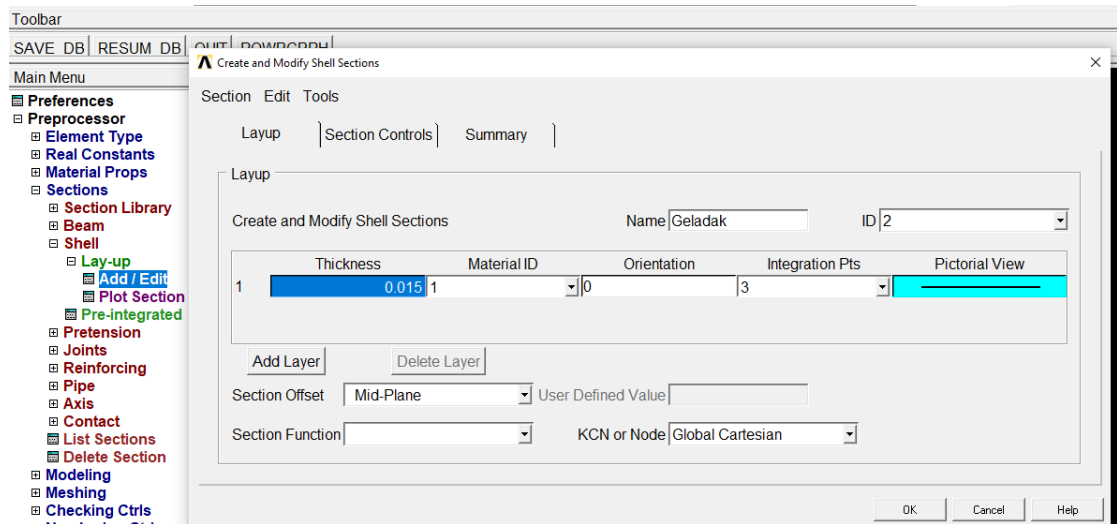
Setelah ditentukan tipe elemen selanjutnya menentukan sifat material. Sifat material yang digunakan adalah isotropik yaitu menganggap material sama diseluruh bagian dan arah. Pemodelan ini menggunakan jenis material baja A36 dengan *yield stress* 235 Mpa, *young modulus* 200 Gpa, dan *poison ratio* 0,3. Selain itu perlu juga diketahui masa jenis baja yaitu 7850 kg/m^3 . Langkah-langkah dalam menentukan sifat material adalah *preprocessor> material prop> material models> structural> linier> isotropik* selanjutnya mengisi nilai *poison ratio* dan *young modulus* dari jenis material yang digunakan. Selain itu, perlu juga mengisi masa jenis dari material tersebut. Tahap pengisian material properties dapat dilihat pada Gambar IV.3.



Gambar IV.3. Pemilihan Sifat Material

c. Section

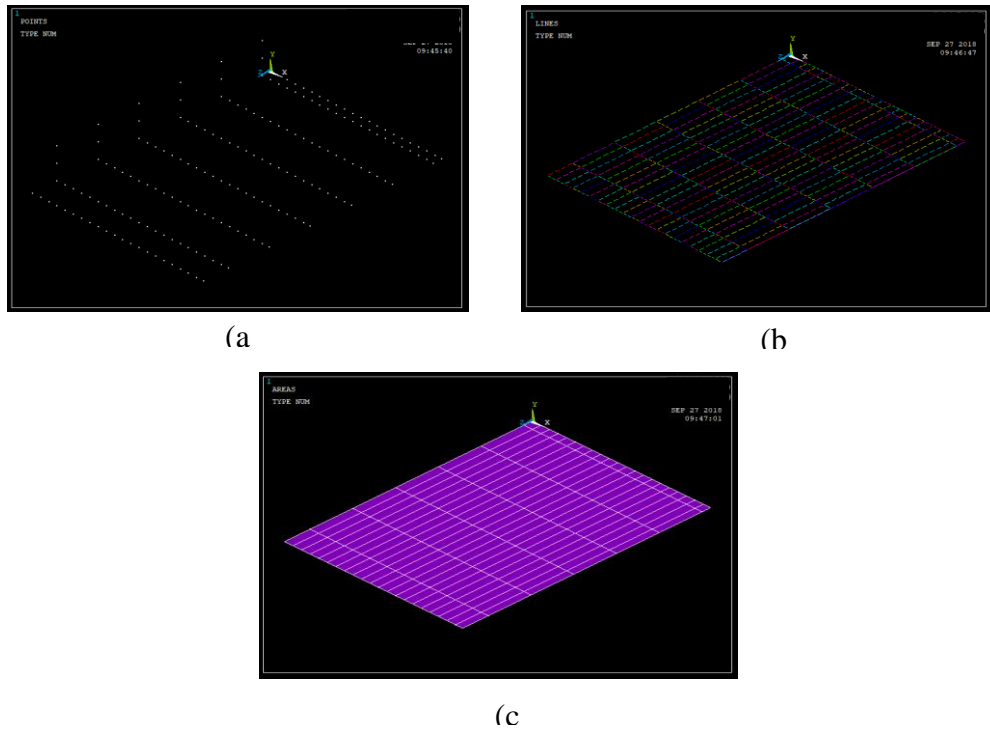
Model yang di buat pada penelitian ini adalah model 2D sehingga pada saat dibuat model belum memiliki ukuran (ketebalan). Untuk mendefinisikan ukuran dari model tersebut dapat digunakan section dengan pilihan *shell*, *beam*, dan lain sebagainya. Proses ini dapat dilihat pada Gambar IV.4.



Gambar IV.4. Penentuan Ketebalan Material untuk Proses *Meshing*

d. Modeling

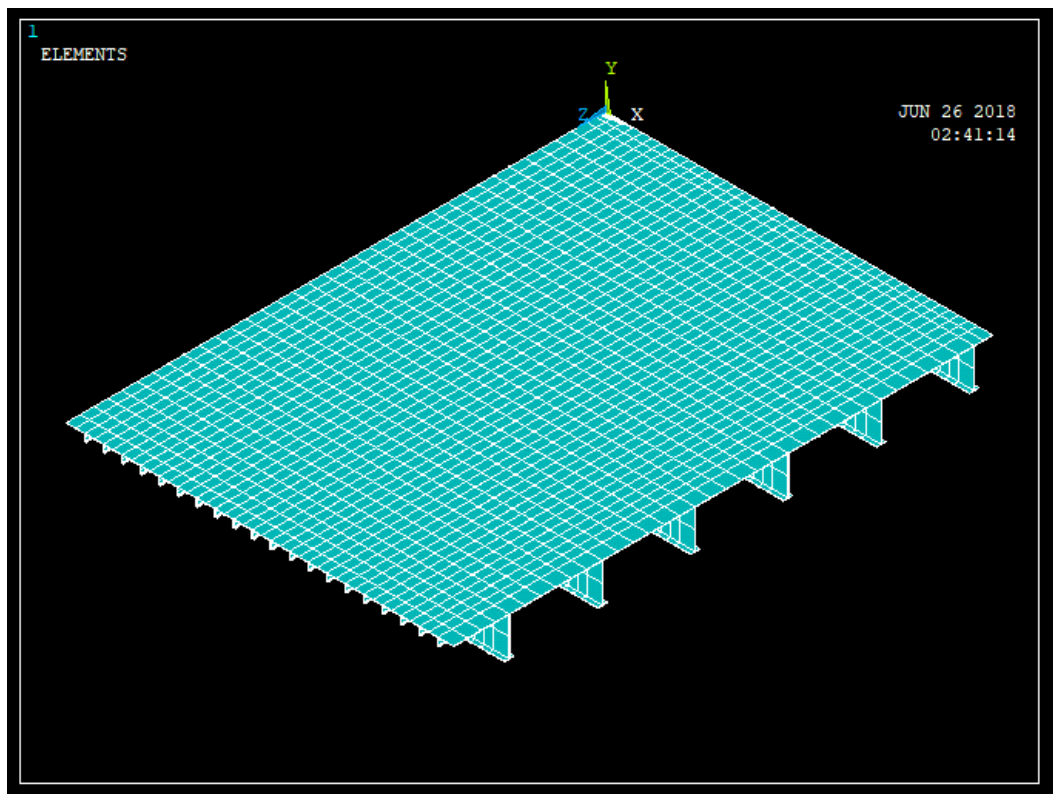
Bagian yang sangat penting pada proses analisis dengan *software* elemen hingga adalah membuat model. Model yang dibuat harus mewakili kondisi sesungguhnya agar tidak terjadi kesalahan yang membuat hasil menjadi tidak akurat. Terdapat dua tipe proses modeling yaitu *Bottom-Up* dan *Top-Down*. Untuk pemodelan ini proses yang dilakukan adalah *Bottom-Up* yaitu membuat model dari *key-point* menjadi garis selanjutnya menjadi luasan. *Key-point* merupakan tahap penentuan titik-titik model setelah *keypoint* selesai dibuat maka selanjutnya menghubungkan titik tersebut menjadi garis. Terakhir adalah pembuatan area dengan cara garis yang sudah dibuat di-*extrude* agar menjadi sebuah luasan area. Proses tersebut dapat dilihat dari Gambar IV.5. Hal yang perlu diperhatikan dalam membuat model yaitu satuan yang digunakan pada saat modeling harus konsisten karena salah satu kelemahan *software* elemen hingga tidak memiliki fasilitas untuk mendeskripsikan satuan. Langkah-langkah untuk memulai modeling adalah *preprocessor>modeling>create*.



Gambar IV.5. Pembuatan model (a) Titik Keypoint (b) Titik Menjadi Garis (c) Garis Menjadi Luas

e. Meshing

Meshing merupakan tahapan selanjutnya setelah proses modeling selesai dilakukan. *Meshing* memiliki tujuan untuk memberikan permukaan *solid* pada model 2D atau 3D yang terdiri dari partikel kecil yang memiliki karakteristik seperti masa jenis dan massa. Keakuratan perhitungan dapat dilihat dari ukuran *meshing*. Semakin kecil ukuran *mesh* maka semakin akurat perhitungan. Akan tetapi untuk mendapatkan ukuran *meshing* yang berukuran kecil diperlukan spesifikasi komputer yang memadai. Langkah awal yang perlu dilakukan saat melakukan *meshing* adalah memilih bagian yang akan di *meshing*. Bisa dalam bentuk *keypont*, *line*, *area* atau *volume*. Selanjutnya memberikan ukuran pada *meshing* dan tahap terakhir adalah *mesh*. Proses *meshing* dapat dilihat pada Gambar IV.6.



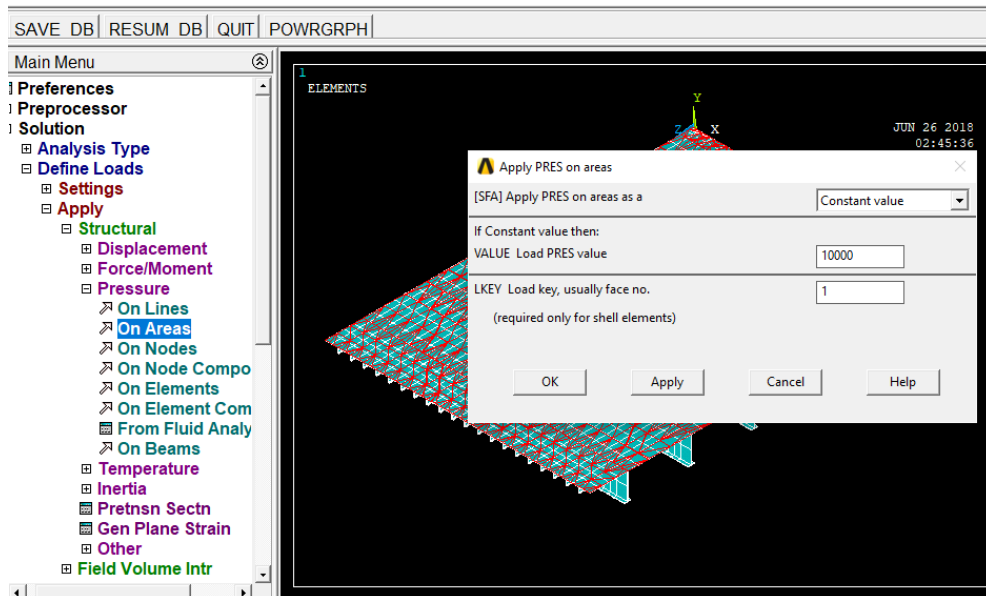
Gambar IV.6. Hasil *Meshing* Geladak

f. Load

Jika *meshing* telah berhasil dilakukan maka tahapan selanjutnya adalah memberikan beban pada model. Untuk penelitian ini, analisis yang dilakukan adalah analisis kekuatan pada geladak sehingga beban yang diberikan adalah beban lateral yang diaplikasikan pada permukaan atas bidang.

Lateral Load

Beban diaplikasikan pada melalui perintah *Main Menu > Solution > Define Loads > Apply*. Jenis beban yang digunakan adalah *pressure on area*. Setelah di pilih area yang akan dikenai beban nilai beban di input. Arah beban akan tegak lurus dengan area yang dikenai beban. Proses pemberian beban dapat dilihat pada Gambar IV.7.



Gambar IV.7. Pemberian Beban Lateral

Nilai beban yang digunakan didapat dari hasil perhitungan menggunakan rumus yang ada di *rules* Bureau Veritas (2017), perhitungan nilai beban tersebut adalah sebagai berikut:

$$PD = 10 \times \varphi_1 \times \varphi_2 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Nilai φ_1 dan φ_2 dari Gambar IV.8 sehingga didapat

$$\varphi_1 = 1 \text{ dan } \varphi_2 = 1$$

$$PD = 10 \times 1 \times 1 = 10 \text{ kN/m}^2 = 10000 \text{ N/m}^2$$

Exposed deck location	φ_1
Freeboard deck and below	1,00
Top of lowest tier	0,75
Top of second tier	0,56
Top of third tier	0,42
Top of fourth tier	0,32
Top of fifth tier	0,25
Top of sixth tier	0,20
Top of seventh tier	0,15
Top of eighth tier and above	0,10

φ_2 : Coefficient taken equal to:

- $\varphi_2 = 1$ if $L \geq 120 \text{ m}$
- $\varphi_2 = L/120$ if $L < 120 \text{ m}$

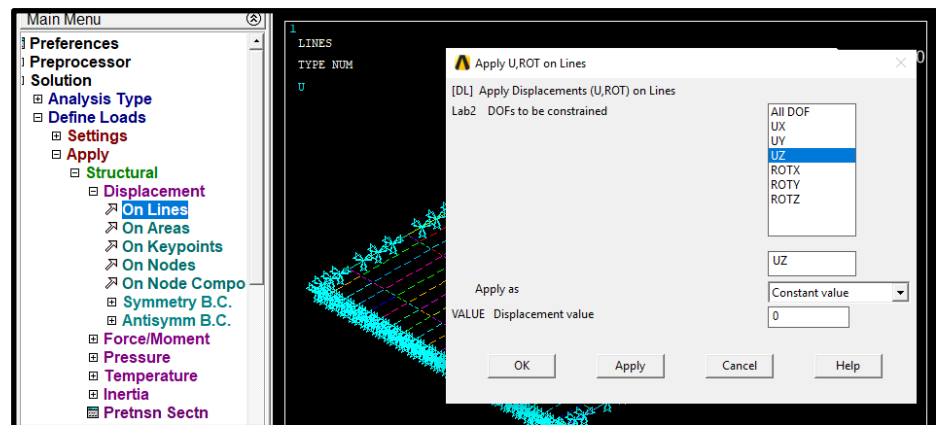
Gambar IV.8. Nilai φ_1 dan φ_2

Kemudian pemberian kondisi batas. Tipe elemen yang digunakan adalah *shell 281 (8 nodes)* yang mana memiliki 6 derajat kebebasan sehingga kondisi batas pada model geladak kapal ini dapat ditunjukkan pada Tabel VI.1 sedangkan langkah pemberian kondisi batas dapat dilihat pada Gambar IV.9.

Tabel IV.1. Penentuan Kondisi Batas Model

Kondisi Batas	Translasi		
	UX	UY	UZ
	0	0	0

Tabel VI.1 menunjukkan nilai kondisi batas yang digunakan dalam analisa. Dimana nilai translasi arah UX, UY dan UZ sama dengan nol.

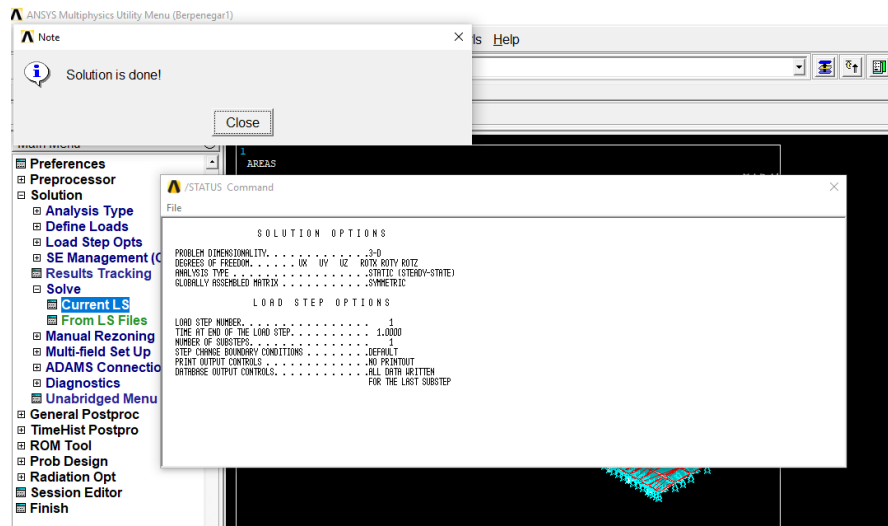


Gambar IV.9. Pemberian *Boundary Condition*

IV.1.3. *Solution*

- *Solve*

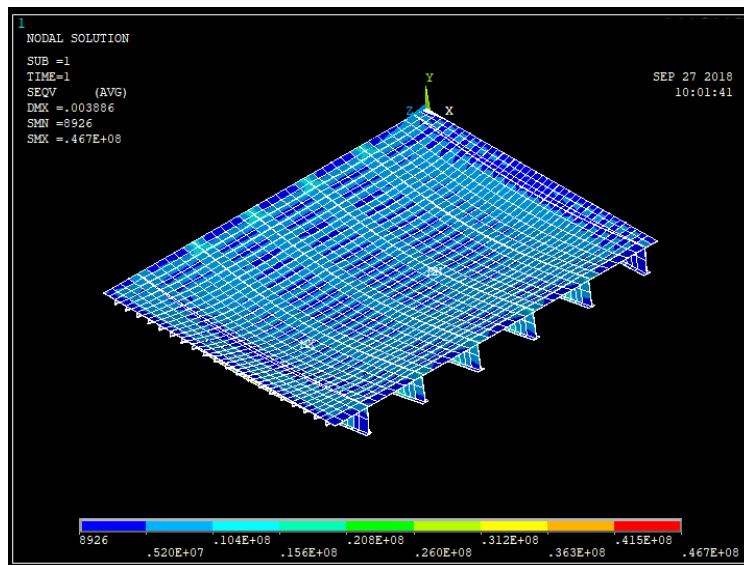
Solve merupakan tahapan akhir dalam pemodelan dengan *software* elemen hingga. Analisis dilakukan guna mendapatkan interpretasi hasil kekuatan model karena itu perlu diketahui nilai tegangan dan deformasi dari model tersebut. *Software* akan mulai melakukan iterasi persamaan ada proses ini hingga hasil akhir yang akan muncul dapat berupa tegangan dan deformasi yang diperlukan untuk tahap analisis selanjutnya. Langkah untuk memulai proses *solve* adalah *Solution>Solve>CurrnetLS*. Lama proses *solving* tergantung dari kerumitan model dan ukuran *mesh*. Semakin rumit dan kecil ukuran *mesh* maka proses *solve* akan semakin lama juga. Begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu untuk desain yang rumit diperlukan komputer dengan spesifikasi yang memadai. Proses *solve* dapat dilihat pada Gambar IV.10.



Gambar IV.10. Proses *solve* sudah selesai

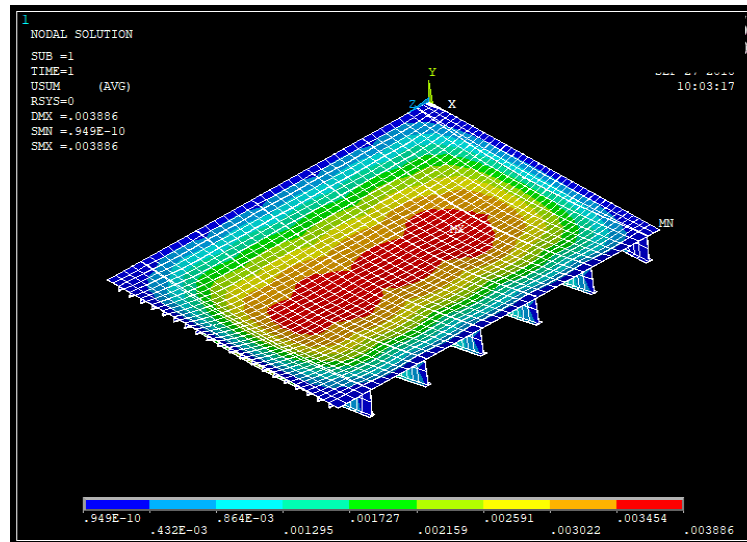
IV.1.4. General Postproc

Jika proses *solve* telah selesai, maka selanjutnya adalah menampilkan hasil pada proses *solve*. Hasil dapat dilihat dengan memilih menu *General Postpro>Plot Result*. Akan terdapat banyak pilihan analisis. Tetapi untuk penelitian ini yang akan di analisis adalah tegangan, deformasi dan berat dari model yang sudah dibuat. Hasil tegangan dan deformasi yang telah selesai melalui proses *solve* dapat dilihat pada Gambar IV.11 dan Gambar IV.12



Gambar IV.11. Besar Tegangan pada Geladak Berpenegar

Gambr IV.11 menunjukkan nilai tegangan *von mises*. Nilai ini dapat dilihat pada keterangan batang berwarna yang menunjukkann tegangan maksimal untuk warna merah dan tegangan minimum untuk warna biru.



Gambar IV.12. Besar Deformasi pada Geladak Berpenegar

Gambar IV.12 menunjukkan besar deformasi pada model. Deformasi maksimal ditunjukkan dengan warna merah dan deformasi minimum yang ditunjukkan dengan warna biru. Sama seperti tegangan nilai deformasi dapat dilihat pada batang berwarna dari kiri kekanan nilai deformasi semakin besar.

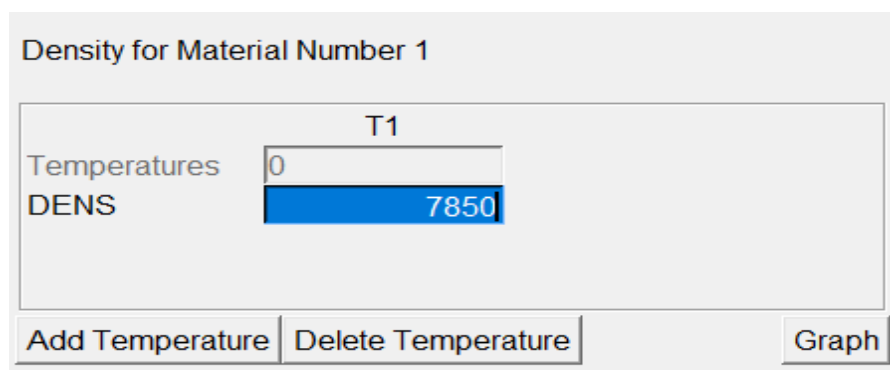
IV.2. Pemodelan Geladak dengan *V-Core Sandwich Panel*

IV.2.1. *Preprocessor*

Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab IV.1.2, *preprocessor* merupakan langkah untuk mendefinisikan model. Model yang dibuat harus mewakili kondisi sebenarnya.

a. Tipe Elemen

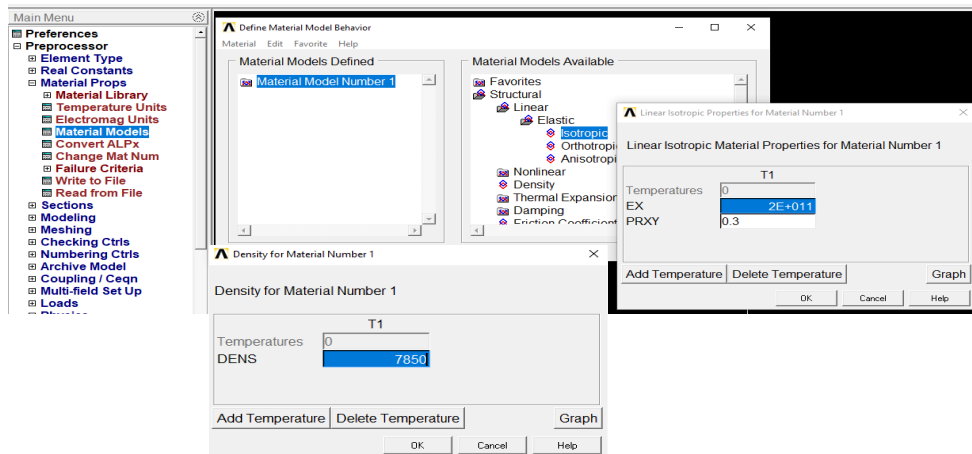
Tipe elemen ditentukan sesuai dengan komponen penyusun konstruksi yang akan dibuat. Konstruksi yang dimodelkan dalam bentuk 2D sehingga tipe elemen yang dipilih adalah *shell 281*. Proses pemberian tipe elemen dapat dilihat pada Gambar IV.13.



Gambar IV.13. Pemilihan Tipe Elemen

b. *Sifat Material*

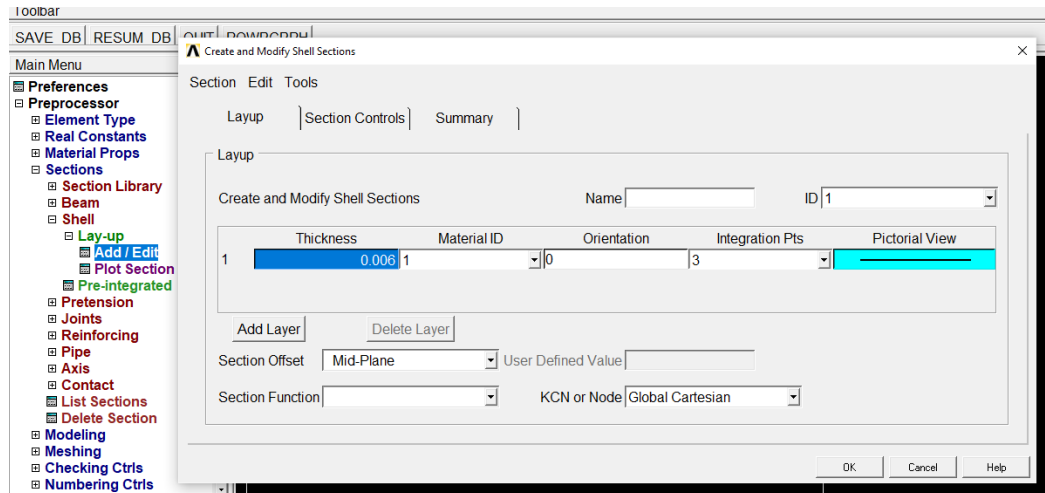
Sifat material yang digunakan sama seperti yang dijelaskan pada sub bab III.4.2 menggunakan baja dengan nilai *yield stress* 235 Mpa, *young modullus* 200 Gpa, dan *poison ratio* 0,3. Selain itu masa jenis baja yang digunakan yaitu 7850 kg/m³. Langkah untuk pemberian sifat material pada model dapat dilihat pada Gambar IV.14.



Gambar IV.14. Pemilihan Sifat Material

c. *Section*

Model yang di buat adalah model 2D sehingga pada saat dibuat model belum memiliki ukuran (ketebalan). Ukuran dari model tersebut dapat didefinisikan dengan menggunakan section yang memiliki pilihan *shell*, *beam*, dan lain sebagainya. Proses ini dapat dilihat pada Gambar IV.15. Model geladak yang menggunakan pelat *sandwich* terdiri dari dua pelat yaitu pelat *face* (tf) dan pelat inti (tc) maka ketebalan pelat yang digunakan adalah 1 mm sampai dengan 6 mm dengan besar ketebalan yang sama untuk tf1 (*face* atas), tc, tf2 (*face* bawah). Nilai ketebalan 1 mm diambil sebagai ukuran pelat paling tipis dan 6 mm diambil berdasarkan pada penjelasan Bab II Sub bab II.2.1 bahwa ketebalan pelat *sandwich panel* yang dilas dengan *laser welding* adalah sampai 6 mm. Gambar IV.15 menunjukkan proses pemberian tebal untuk proses *meshing* pada model.



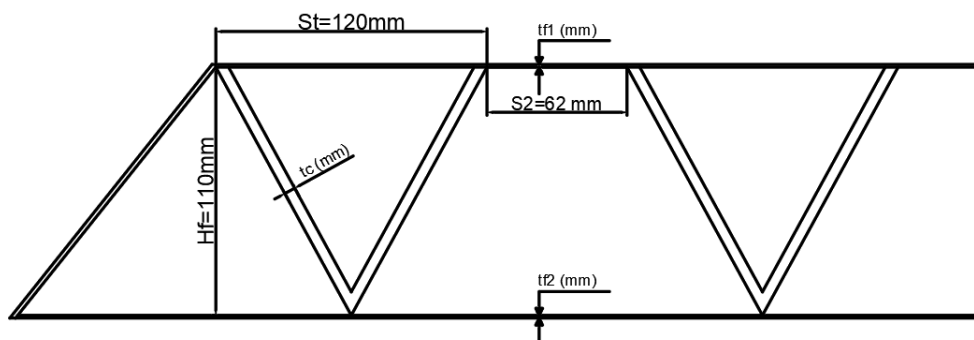
Gambar IV.15. Penentuan Ketebalan Material untuk Proses *Meshing*

d. Modeling

Proses yang dilakukan pada pemodelan pelat *sandwich* adalah *Bottom-Up* yaitu membuat model dari *key-point* menjadi garis selanjutnya menjadi luasan. *Key-point* merupakan tahap penentuan titik-titik model setelah *keypoint* selesai dibuat maka selanjutnya menghubungkan titik tersebut menjadi garis. Terakhir adalah pembuatan area dengan cara garis yang sudah dibuat di-*extrude* agar menjadi sebuah luasan area. Model dibuat berdasarkan ukuran yang didapat pada data kapal. Tetapi terdapat perbedaan dalam pembuatan model. Model pelat *sandwich* terdiri dari dua buah pelat yang ditumpuk disebut *face plate* dengan pemisah berupa inti (*core*). Bentuk *core* berupa segitiga disebut *v-core*. Pemodelan dibuat tiga kali dengan rincian sebagai berikut:

1. Pemodelan *Sandwich Panel* dengan tinggi *core* 110 mm (Model 1)

Desain awal *sandwich panel* dapat dilihat pada Gambar IV.16 untuk panel dengan ketinggian *core* 110 mm. Seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



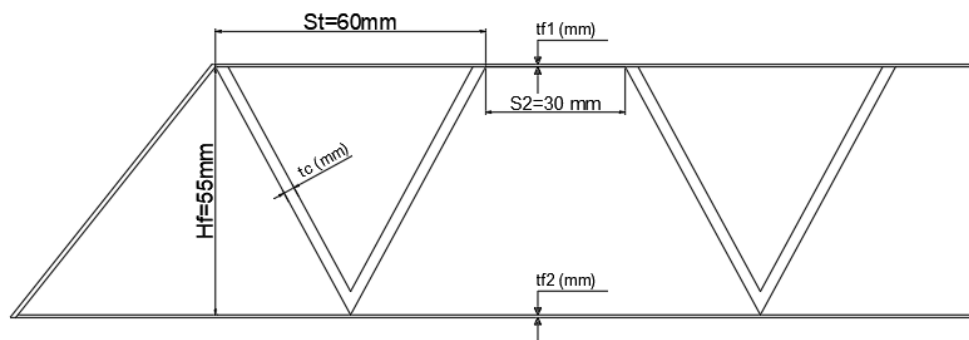
Gambar IV.16. V-Core Sandwich Panel Model 1

Berdasarkan desain pada Gambar IV.16 untuk menentukan dimensi dari *sandwich panel* didasarkan batasan pada hasil penelitian sebelumnya dan berdasarkan variasi yang dilakukan oleh peneliti.

- H_f menunjukkan ketinggian *core*. Ketinggian 110 mm
- t_f adalah tebal *face* dan t_c adalah tebal *core*. Variasi ketebalan t_f dan t_c adalah dari tebal 1 s/d 6 mm.
- S_t merupakan lebar dari *v-core* yaitu 120 mm. Dalam menentukan nilai S_t penelitian ini mengikuti batasan bahwa rasio S_t/H_f tidak boleh kurang dari 0,5 dan lebih dari 3. $S_t/H_f = 120/110 = 1,091$
- S_2 merupakan jarak antar *core* yaitu 62 mm. Ukuran jarak antar *core* didapat dari pertimbangan bahwa rasio S_2/H_f berkisar antara 0,3 sampai dengan 1. $S_2/H_f = 62/110 = 0,564$

2. Pemodelan *Sandwich Panel* dengan tinggi *core* 55 mm (Model 2)

Penelitian ini juga membuat desain dengan ketinggian *core* 55 mm yang dapat dilihat pada Gambar IV.17.



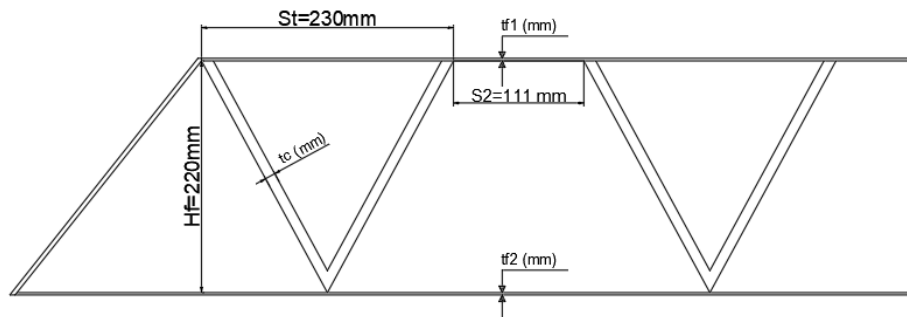
Gambar IV.17. V-Core Sandwich Panel Model 2

- H_f menunjukkan ketinggian *core*. Tinggi model kedua yang dibuat adalah 55 mm yaitu setengah dari H_f model 1. Penentuan ini adalah berdasarkan variasi peneliti.
- Variasi ketebalan t_f dan t_c yaitu menggunakan ketebalan 1 s/d 6 mm

- St merupakan lebar dari *V-Core* yaitu 60 mm. Dalam menentukan nilai St penelitian ini mengikuti batasan bahwa rasio St/H_f tidak boleh kurang dari 0,5 dan lebih dari 3. $St/H_f = 60/55 = 1,09$
- S2 merupakan jarak antar *core* yaitu 30.2 mm. Ukuran jarak antar *core* didapat dari pertimbangan bahwa rasio $S2/H_f$ berkisar antara 0,3 sampai dengan 1. $S2/H_f = 30.2/55 = 0,5491$

3. Pemodelan *Sandwich Panel* dengan tinggi *core* 220 mm (Model 3)

Variasi tinggi ke tiga adalah membuat *v-vore sandwich panel* dengan ketinggian *core* 220 mm yang dapat dilihat pada Gambar IV.18.

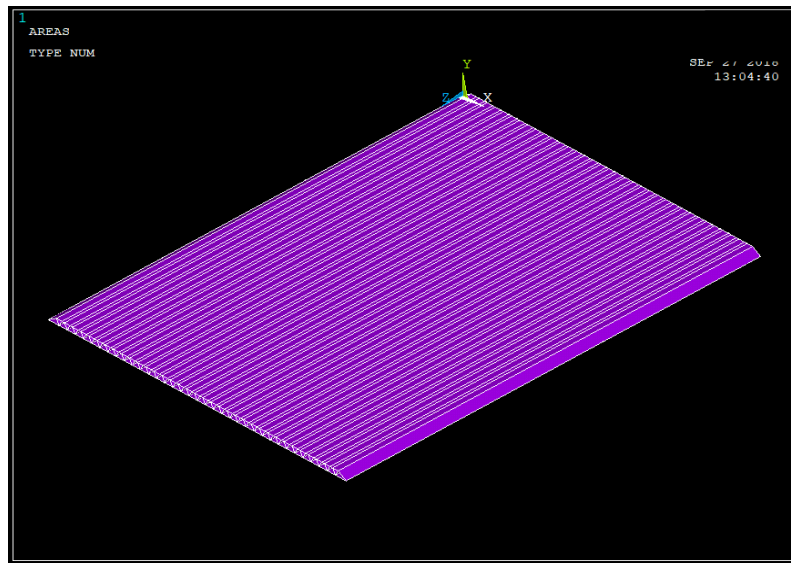


Gambar IV.18. V-Core Sandwich Panel Model 3

- H_f menunjukkan ketinggian *core*. Variasi tinggi model ketiga yang dibuat adalah 220 mm yaitu 2 kali dari H_f model 1.
- Variasi ketebalan t_f dan t_c yaitu menggunakan ketebalan 1s/d 6 mm
- St merupakan lebar dari *V-Core* yaitu 230 mm. Dalam menentukan nilai St penelitian ini mengikuti batasan bahwa rasio St/H_f tidak boleh kurang dari 0,5 dan lebih dari 3. $St/H_f = 230/220 = 1,045$
- S2 merupakan jarak antar *core* yaitu 111 mm. Ukuran jarak antar *core* didapat dari pertimbangan bahwa rasio $S2/H_f$ berkisar antara 0,3 sampai dengan 1. $S2/H_f = 111/220 = 0,505$

Desain yang telah selesai dibuat mulai dilakukan *modeling*. *Sandwich panel* dimodelkan dengan ukuran yang sama dengan ukuran model geladak kapal berpenegar yaitu dengan panjang 17,4 m dan lebar 12,5 m. Tetapi untuk *sandwich panel* ketebalan pelat tidak sama. Selain itu pada *sandwich panel* penegar geladak tidak dimodelkan.

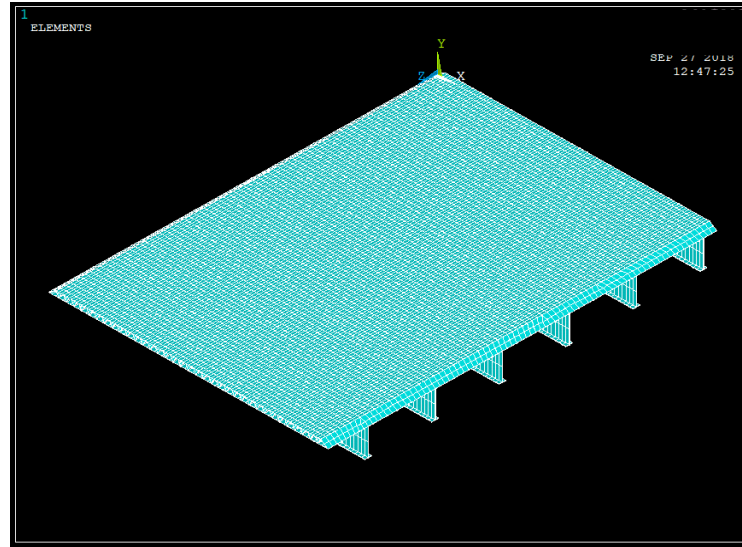
V-core sandwich panel merupakan *sandwich panel* dengan *core* arah memanjang pelat berbentuk V. Hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain *v-core sandiwch panel* adalah usahakan bahawa ujung pelat dan ujung penegar V di sisi-sisinya bertemu. Jika ada celah diantara ujung-ujung tersebut dikhawatirkan akan terjadi kesalahan pada model karena adanya ukuran elemen yang kecil pada bagian tersebut menyebabkan hasil *running* model tidak akurat. Model *sandwich panel* pada *software* elemen hingga dapat dilihat pada Gambar IV.19.



Gambar IV.19. Model V-Core Sandwich Panel

e. Meshing

Meshing merupakan tahapan selanjutnya setelah proses modeling selesai dilakukan. *Meshing* memiliki tujuan untuk memberikan permukaan solid pada model 2D dan 3D yang terdiri dari partikel kecil yang memiliki karakteristik seperti masa jenis dan masa. Keakuratan perhitungan dapat dilihat dari ukuran *meshing*. Semakin kecil ukuran *mesh* maka semakin akurat perhitungan. Akan tetapi untuk mendapatkan ukuran *meshing* yang berukuran kecil diperlukan spesifikasi komputer yang memadai. Langkah awal yang perlu dilakukan saat melakukan *meshing* adalah memilih bagian yang akan di *meshing*. Bisa dalam bentuk *keypont*, *line*, *area* atau *volume*. Selanjutnya memberikan ukuran pada *meshing* dan tahap terakhir adalah *mesh*. Proses *meshing* dapat dilihat pada Gambar IV.20.



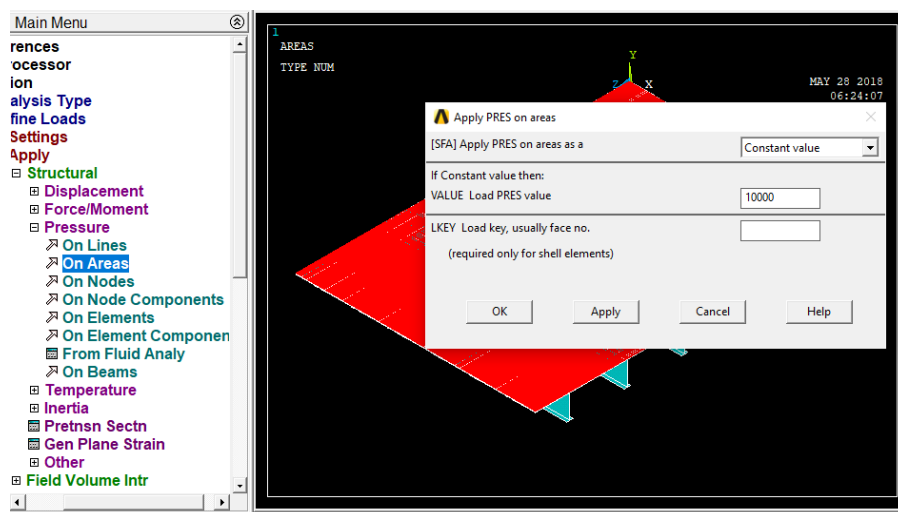
Gambar IV.20. Hasil Meshing Geladak V-Core Sandwich Panel

f. Load

Jika *meshing* telah berhasil dilakukan maka tahapan selanjutnya memberikan beban pada model. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis kekuatan pada geladak sehingga beban yang diberikan adalah beban lateral yang diaplikasikan merata pada permukaan atas bidang.

Lateral Load

Beban ini didapat dari perhitungan menggunakan rumus yang diberikan oleh Bureau Veritas. Beban yang sudah dihitung tadi dapat diaplikasikan melalui perintah *Main Menu> Solution> Define Loads> Apply*. Proses pemberian beban dapat dilihat pada Gambar IV.21.



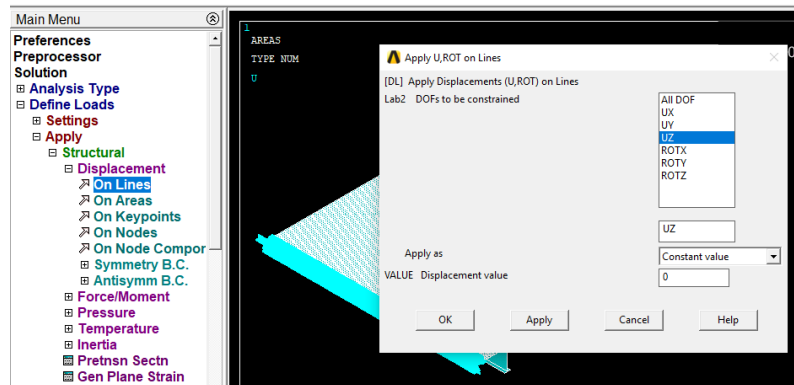
Gambar IV.21. Pemberian Beban

Selanjutnya pemberian batasan. Tipe elemen yang digunakan adalah *shell 281 (8 nodes)* yang mana memiliki 6 derajat kebebasan sehingga kondisi batas pada model geladak kapal ini dapat ditunjukkan pada Tabel IV.2 sedangkan langkah pemberian kondisi batas dapat dilihat pada Gambar IV.24. Besarnya beban yang digunakan sama seperti pada beban yang digunakan pada geladak berpenegar. Perhitungan beban dapat dilihat pada bab IV sub bab IV.1.2 tentang *load*.

Tabel IV.2. Penentuan Kondisi Batas Model

Kondisi Batas	Translasi		
	UX	UY	UZ
	0	0	0

Tabel IV.2 menunjukkan nilai kondisi batas yang digunakan dalam analisa. Dimana nilai translasi arah UX, UY dan UZ sama dengan nol. Kondisi batas pada pelat *sandwich* sama dengan kondisi batas yang digunakan pada geladak berpenegar.



Gambar IV.22. Pemberian *Boundary Condition*

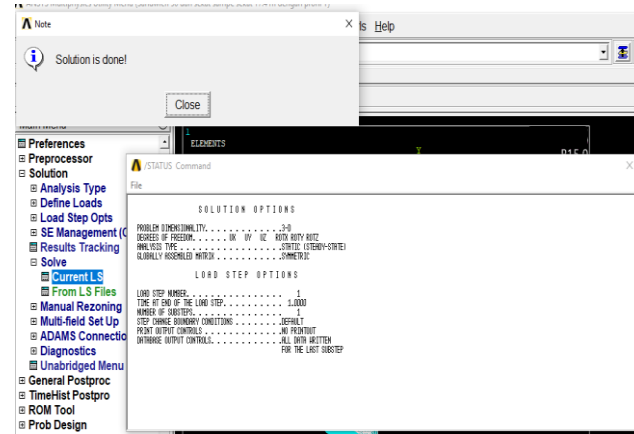
Pemberian kondisi batas pada model *sandwich panel* dapat dilihat pada Gambar IV.22. Kondisi batas diberikan pada sekeliling model yaitu UX, UY dan UZ sama dengan nol disisi sisi model.

IV.2.2. *Solution*

- *Solve*

Solve merupakan tahapan akhir dalam pemodelan dengan *software* elemen hingga. Karena yang dianalisis kekuatan model maka perlu diketahui nilai tegangan dan deformasi dari model tersebut. Pada proses ini *software* akan mulai melakukan iterasi persamaan dan hasil akhir yang akan muncul dapat berupa tegangan dan deformasi yang diperlukan untuk tahap

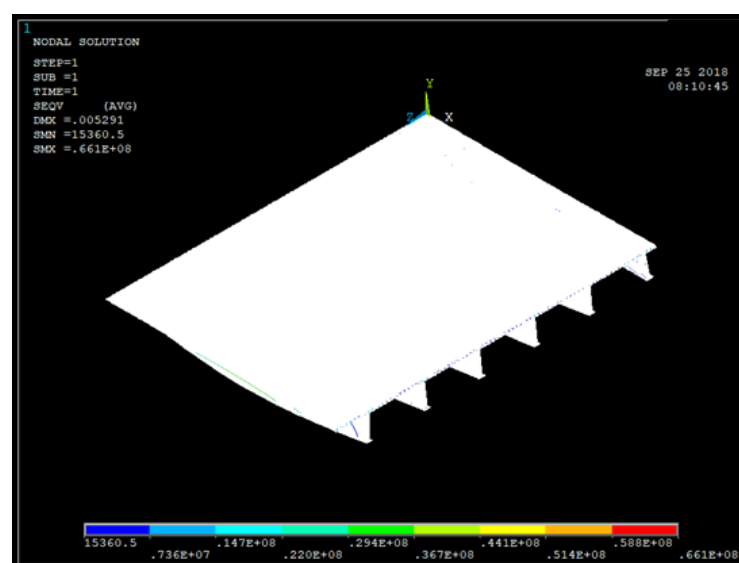
analisis selanjutnya. Langkah untuk memulai proses *solve* adalah *Solution> Solve> CurrnetLS*. Lama proses *solving* tergantung dari kerumitan model dan ukuran *mesh*. Semakin rumit dan kecil ukuran *mesh* maka proses *solve* akan semakin lama juga. Begitu juga sebaliknya. Proses *solve* dapat dilihat pada Gambar IV.23.



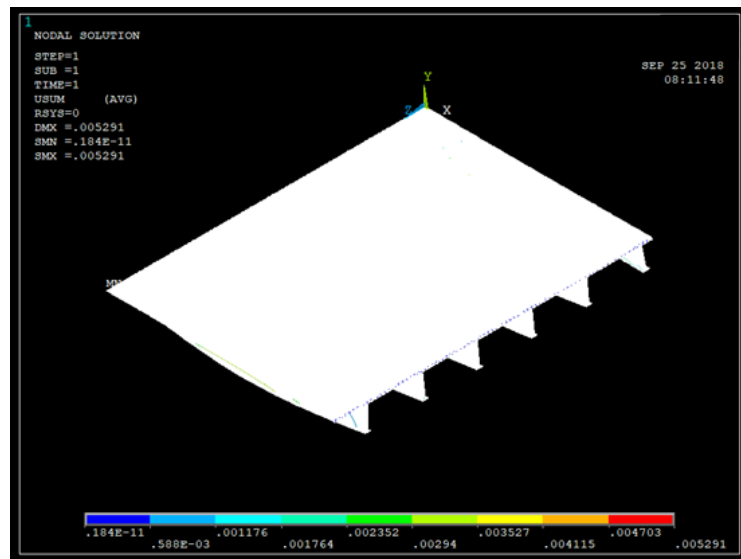
Gambar IV.23. Hasil Solving

IV.2.3. General Postproc

Sama seperti geladak berpenegar, untuk geladak dengan pelat *sandwich* jika proses *solve* telah selesai, maka selanjutnya adalah menampilkan hasil pada proses *solve*. Hasil dapat dilihat dengan memilih *General Postpro>Plot Result* pada *software* elemen hingga. Akan terdapat banyak pilihan analisis. Tetapi untuk penelitian ini yang akan di analisis adalah tegangan, deformasi dan berat dari model yang sudah dibuat. Hasil dari *solving v-core sandwich panel* dapat dilihat pada Gambar IV.24 dan Gambar IV.25.



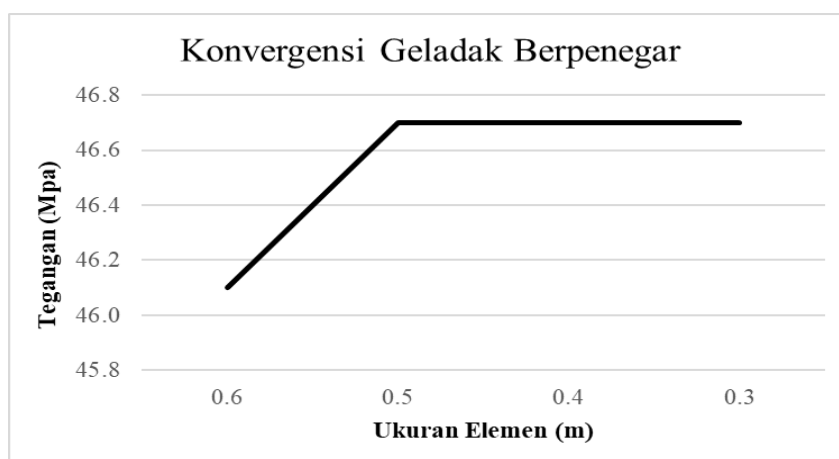
Gambar IV.24. Besar Tegangan pada Geladak V-Core Sandwich Panel



Gambar IV.25. Besar Deformasi pada Geladak V-Core Sandwich Panel

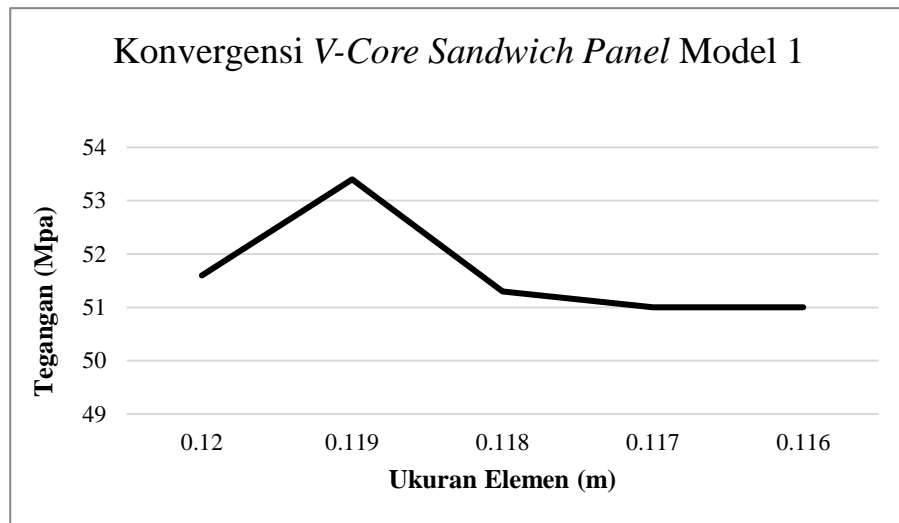
IV.3. Konvergensi

Konvergensi pada model geladak berpenegar dan geladak dengan *v-core sandwich panel* menggunakan perbandingan antara nilai tegangan dan ukuran elemen. Konvergensi dilakukan dengan *running* model berulang kali dan mengganti-ganti ukuran elemen sampai didapat nilai tegangan yang tidak berubah. Dapat diketahui juga dari hasil konvergensi semakin kecil ukuran elemen, jumlah elemen akan semakin banyak. Hasil konvergensi model dapat dilihat pada Gambar IV.26 sampai dengan Gambar IV.30.



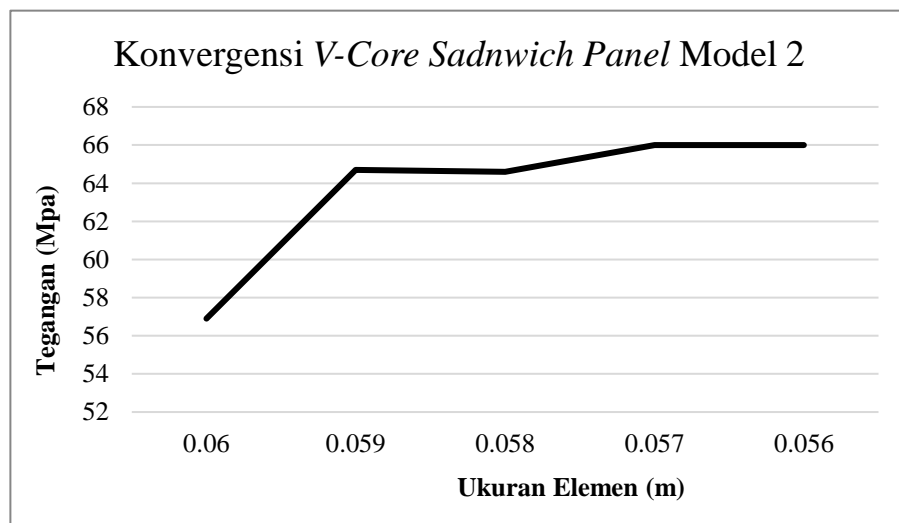
Gambar IV.26. Hasil Konvergensi Geladak berpenegar

Berdasarkan Gambar IV.26 dari hasil konvergensi didapatkan ukuran *meshing* yang digunakan untuk geladak berpenegar yaitu 500 mm.



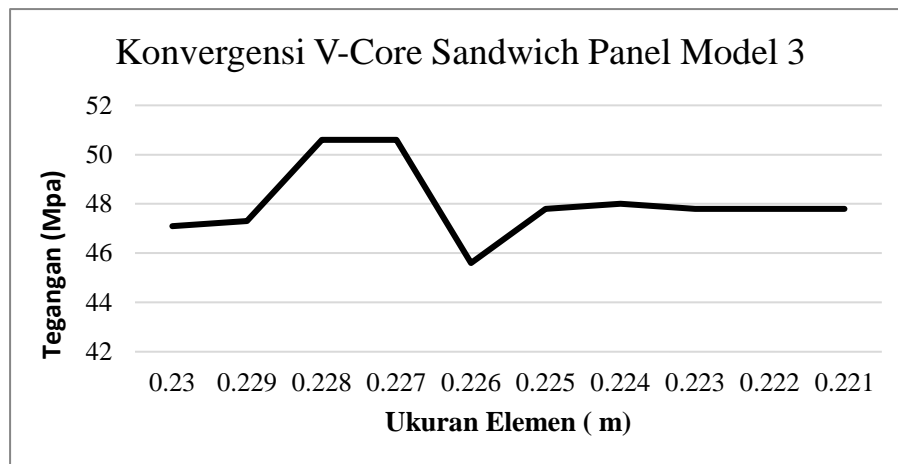
Gambar IV.27. Hasil Konvergensi Geladak dengan V-Core Sandwich Panel Model 1

Berdasarkan Gambar IV.27 dari hasil konvergensi didapatkan ukuran *meshing* yang digunakan untuk pelat *sandwich* model 1 yaitu 117 mm



Gambar IV.28. Hasil Konvergensi Geladak dengan V-Core Sandwich Panel Model 2

Berdasarkan Gambar IV.28 dari hasil konvergensi didapatkan ukuran *meshing* yang digunakan untuk pelat *sandwich* model 2 itu 57 mm.



Gambar IV.29. Hasil Konvergensi Geladak dengan *V-Core Sandwich Panel Model 3*

Berdasarkan Gambar IV.29 dari hasil konvergensi didapatkan ukuran *meshing* yang digunakan untuk pelat *sandwich* model 3 yaitu 223 mm

BAB V

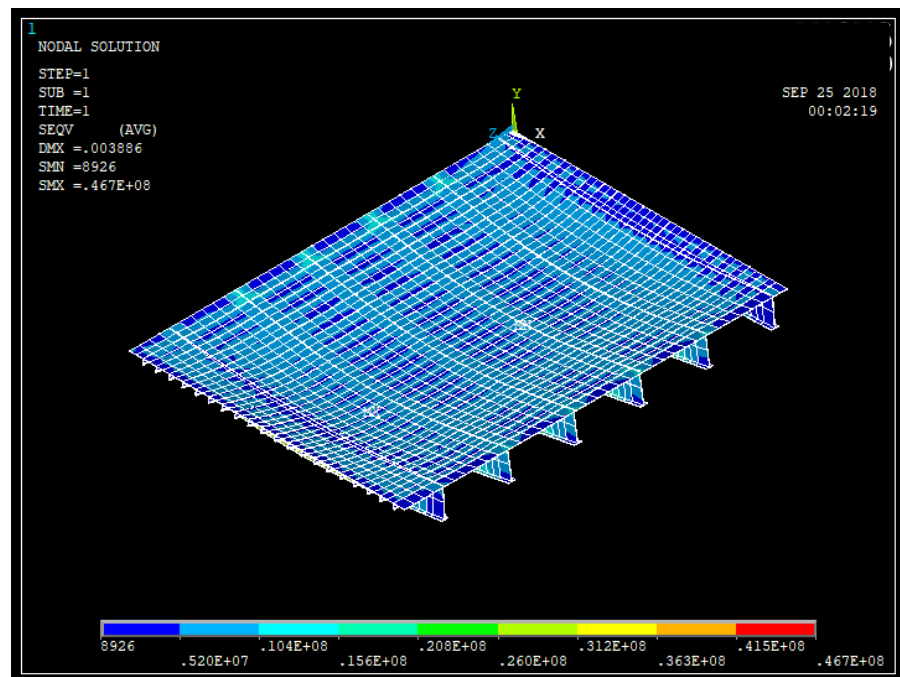
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

V.1. Analisis dan Pembahasan Hasil

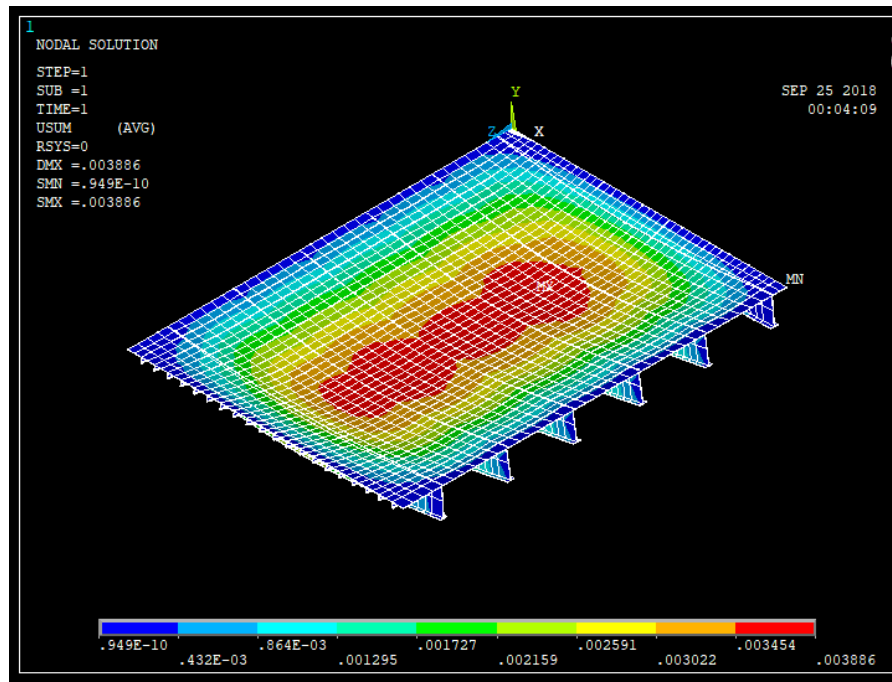
Pemodelan yang telah dilakukan pada geladak kapal dengan model geladak berpenegar dan *v-core sandwich panel* selanjutnya akan dilakukan analisis berupa besar tegangan yang terjadi pada model setelah dikenai beban. Beban yang digunakan adalah beban lateral dari atas geladak. Hasil tegangan ini akan digunakan untuk pengecekan kekuatan model. Tegangan yang digunakan untuk analisis pada penelitian ini adalah tegangan maksimal. Selain melakukan analisis tegangan pada model, juga dilakukan analisis pada nilai deformasi maksimal dan berat setiap struktur yang dimodelkan.

V.2. Geladak Berpenegar

Geladak dengan penegar merupakan struktur pada kondisi sebenarnya yang diaplikasikan pada geladak tanker yang diteliti untuk analisis tugas akhir ini. Struktur dimodelkan menggunakan *software* elemen hingga seperti yang dijelaskan pada Sub-Bab IV.1 kemudian diberi beban sehingga didapatkan nilai tegangan yang ditunjukkan pada Gambar V.1 dan besar deformasi yang ditunjukkan pada Gambar V.2.



Gambar V.1. Tegangan pada Geladak Berpenegar



Gambar V.2. Deformasi pada Geladak Berpenegar

Gambar V.1 menunjukkan bahwa besar tegangan maksimum yang dihasilkan adalah 46,7 MPa yang terletak pada pelintang geladak ditunjukkan dengan warna merah dan untuk area berwarna biru menunjukkan nilai tegangan yang paling minimum yaitu sebesar 0,008926 MPa. Analisis tegangan yang digunakan adalah analisis tegangan *von mises*. Besar deformasi pada model diambil dari penjumlahan deformasi tiga arah yaitu sumbu X, Y dan sumbu Z didapatkan nilai deformasi maksimum sebesar 3,886 mm seperti yang terlihat pada Gambar V.2 ditunjukkan dengan area berwarna merah.

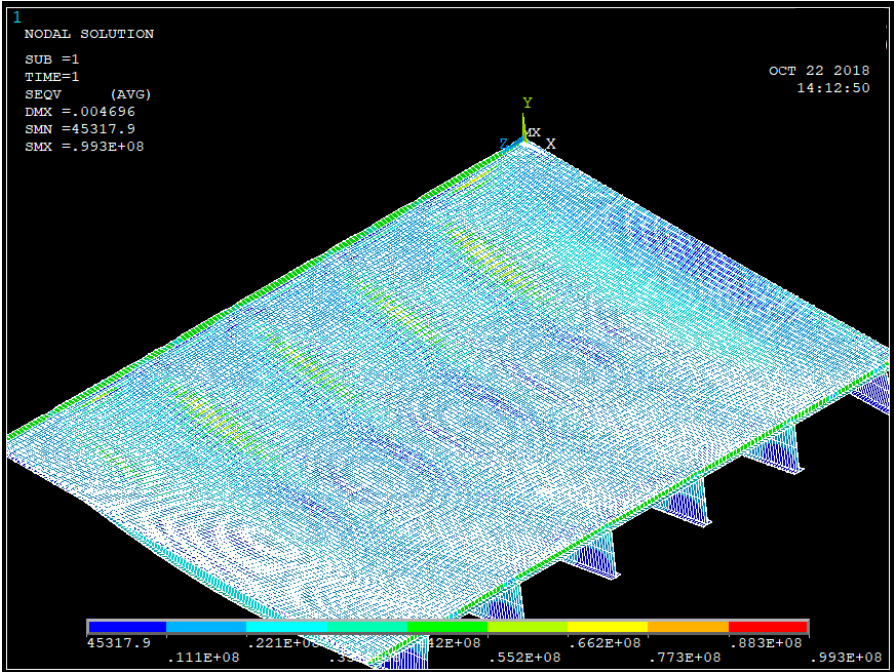
V.3. Geladak dengan V-Core Sandwich Panel

Geladak dengan *v-core sandwich panel* dimodelkan dengan variasi berupa tinggi *core* (H) yaitu untuk tinggi 110 mm (variasi 1), 55 mm (variasi 2) dan 220 mm (variasi 3). Selain itu, dilakukan juga variasi pada ketebalan pelat baik untuk ketebalan *face plate* (tf) dan ketebalan *core plate* (tc).

V.3.1. Geladak dengan V-Core Sandwich Panel Model 1

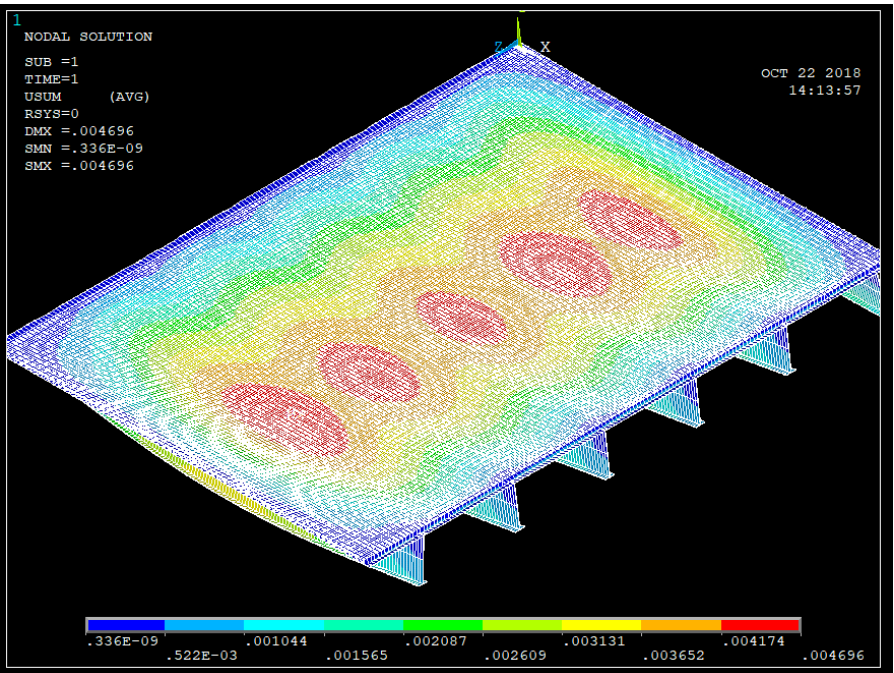
Nilai tegangan dan deformasi didapatkan setelah proses analisis oleh *software* elemen hingga selesai dilakukan. Tegangan yang timbul adalah akibat beban lateral. Jenis tegangan yang digunakan pada struktur adalah normal. Berikut merupakan salah satu hasil

tegangan dan deformasi pada ketebalan *face* 2 mm dan *core* 6 mm untuk *v-core sandwich panel* model 1 seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.3 dan Gambar V.4.



Gambar V.3. Tegangan pada Geladak dengan V-Core Sandwich Panel Model 1

Gambar V.3 memperlihatkan tegangan terbesar terjadi pada pertemuan antara pelat *face* dan *core* pada bagian ujung kiri belakang pelat *sandwich*. Titiknya terbesarnya berada pada pelat *face v-core sandwich panel* tegangan *von mises* maksimal yang terjadi sebesar 99,3 MPa.



Gambar V.4. Deformasi pada Geladak dengan V-Core Sandwich Panel Model 1

Gambar V.4 menunjukkan nilai deformasi maksimal yaitu sebesar 4,696 mm. Deformasi terbesar terjadi ditengah karena tumpuan berada di sisi-sisi truktur. Ketika diberi beban konsentrasinya cenderung terpusat sehingga deformasi terbesar terjadi di tengah model. Nilai tegangan dan deformasi untuk variasi tf dan tc pada ketinggian *core* 110 mm dapat dilihat pada Tabel V.1 dan Tabel V.2. Variasi A sampai dengan variasi F pada tabel menunjukkan variasi ketebalan pelat yang digunakan pada *v-core sandwich panel*. Penamaan variasi ini bertujuan untuk mempermudah pengelompokan variasi ketebalan. Tabel V.1 terdiri dari variasi A menunjukkan variasi geladak *v-core sandwich panel* dengan ketebalan *face* dan *core* yang sama yaitu tebal 1 mm sampai dengan 6 mm dan variasi B dan C yang merupakan variasi ketebalan *face* atas dan *face* bawah yang sama dengan tebal 5 mm dan 6 mm tetapi memiliki variasi tebal *core* yang berbeda yaitu tebal 1 mm s/d 6 mm. Tabel V.2 menunjukkan variasi D sampai dengan variasi F. Variasi D memiliki variasi ketebalan sama seperti variasi A. Variasi E dan F merupakan variasi ketebalan *core* yang sama yaitu tebal 5 mm dan 6 mm tetapi memiliki variasi tebal *face* berbeda yaitu dimulai pada tebal 1 mm s/d 6 mm. Berdasarkan Tabel V.1 dan Tabel V.2 menunjukkan bahwa nilai tegangan variasi A dan variasi D yang paling baik dimulai saat ketebalan *face* dan *core* 5 mm (5-5-5 mm) yaitu sebesar 44,8 Mpa diikuti saat ketebalan *sandwich panel* 6-6-6 mm dengan besar tegangan 44 Mpa karena tegangannya sudah lebih kecil dari tegangan izin sebesar 175 Mpa dan tegangan geladak berpenegar sebesar 46,7 Mpa. Tegangan pada Variasi B-C dan Variasi E-F memiliki nilai yang lebih kecil dari tegangan izin dan tegangan geladak berpenegar saat ketebalan *v-core sandwich panel* 5-5-5 mm, 6-5-6 mm, 5-6-5 mm, 6-6-6 mm, 5-6-5 mm dan 6-5-6 mm. Besar tegangan pada tebal-tebal tersebut dapat dilihat pada Tabel V.1 dan Tabel V.2. Nilai deformasi *v-core sandwich panel* Tabel V.1 lebih kecil pada saat *sandwich panel* tebal 6-5-6 mm dan 6-6-6 mm. Nilai deformasi Tabel V.2 jika dibandingkan dengan deformasi geladak berpenegar lebih kecil saat *face* sandwich panel 6 mm dengan tebal *core* 3-6 mm. Perbedaan tegangan dan deformasi antara geladak berpenegar dengan geladak dengan *v-core sandwich panel* jika disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar V.5 sampai Gambar V.8.

Tabel V.1 Nilai Tegangan dan Deformasi Saat tf Sama (V-Core Sandwich Panel Model 1)

GELADAK DENGAN V-CORE SANDWICH PANEL H=110 mm												
Jenis Pelat	Variasi A				Variasi B				Variasi C			
	tf (mm)	tc (mm)	Tegangan (Mpa)	Tegangan Ijin (Mpa)	Syarat	Deformasi (mm)	tc (mm)	Tegangan (Mpa)	Tegangan Ijin (Mpa)	Syarat	Deformasi (mm)	tc (mm)
Sandwich Panel	1	1	309	175	TM	7.365	5	269	175	TM	5.82	6
	2	2	110	175	M	5.134	5	101	175	M	4.772	6
	3	3	68.2	175	M	4.455	5	65	175	M	4.314	6
	4	4	51.3	175	M	4.093	5	49	175	M	4.063	6
	5	5	44.8	175	M	3.921	5	44.8	175	M	3.921	6
	6	6	44	175	M	3.795	5	44.1	175	M	3.812	6
Geladak Berpenegar	-	-	46,7	175	M	3,886						

Tabel V.2 Nilai Tegangan dan Deformasi Saat tc Sama (V-Core Sandwich Panel Model 1)

GELADAK DENGAN V-CORE SANDWICH PANEL H=110 mm												
Jenis Pelat	Variasi D				Variasi E				Variasi F			
	tc (mm)	tf (mm)	Tegangan (Mpa)	Tegangan Ijin (Mpa)	Syarat	Deformasi (mm)	tf (mm)	Tegangan (Mpa)	Tegangan Ijin (Mpa)	Syarat	Deformasi (mm)	tf (mm)
Sandwich Panel	1	1	309	175	TM	7.365	5	152	175	M	4.109	6
	2	2	110	175	M	5.134	5	92.8	175	M	4.017	6
	3	3	68.2	175	M	4.455	5	66.4	175	M	3.975	6
	4	4	51.3	175	M	4.093	5	51	175	M	3.945	6
	5	5	44.8	175	M	3.921	5	44.8	175	M	3.921	6
	6	6	44	175	M	3.795	5	44.7	175	M	3.9	6
Geladak Berpenegar	-	-	46,7	175	M	3,886						

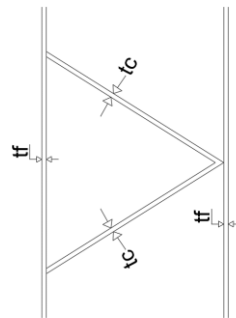
Keterangan:

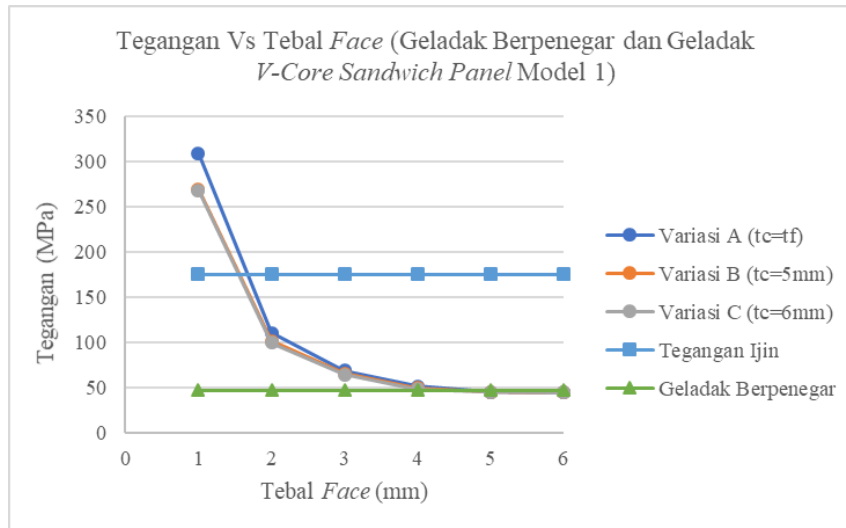
tc=tebal *core*

tf=tebal *face*

TM= Tidak Memenuhi

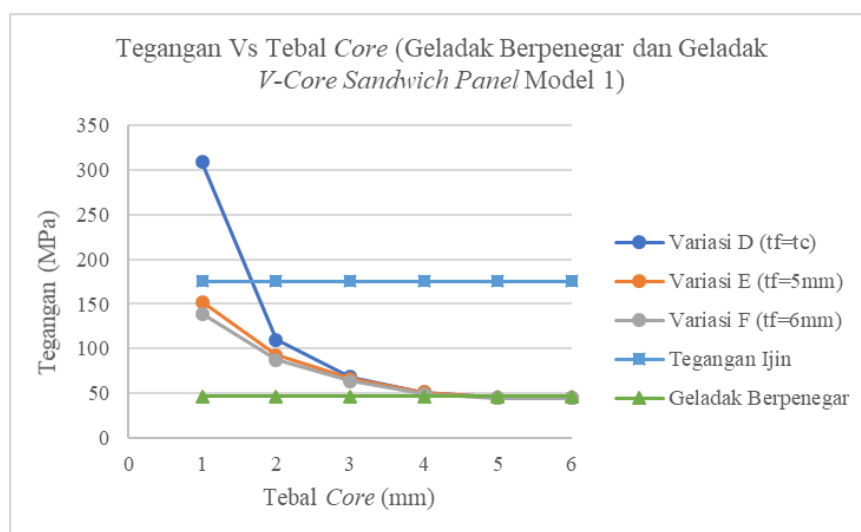
M= Memenuhi





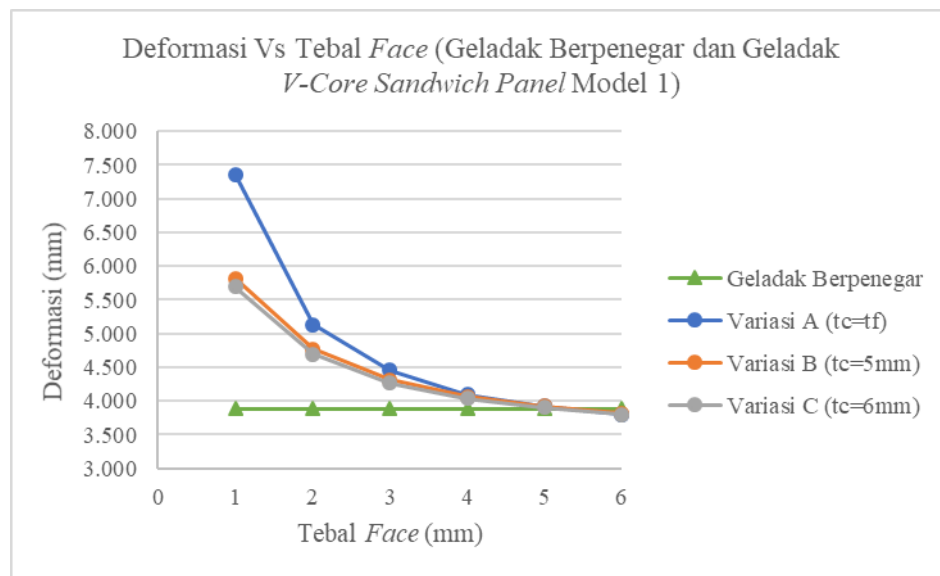
Gambar V.5. Grafik Tegangan Vs Tebal Face (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 1)

Keterangan Variasi A sampai dengan Variasi C pada Gambar merupakan variasi ketebalan pada *v-core sandwich panel* saat tebal *core* sama untuk setiap variasi tetapi memiliki tebal *face* yang berbeda dari 1-6 mm yang detailnya dapat dilihat pada Tabel V.1. Misalnya untuk variasi A memiliki tebal *core* yang sama dengan tebal *face* yaitu 1-6 mm dan variasi B memiliki tebal *core* 5 mm saat tebal *face* 1-6 mm dan seterusnya. Tegangan izin ditunjukkan dengan grafik warna biru dan tegangan geladak berpenegar ditunjukkan dengan grafik berwarna orange untuk dibandingkan dengan *v-core sandwich panel* variasi A s/d variasi C. Besar tegangan *v-core sandwich panel* model 1 kurang dari geladak berpenegar pada ketebalan *face* 5 mm. Semakin bertambahnya ketebalan pelat maka tegangan akan semakin kecil.



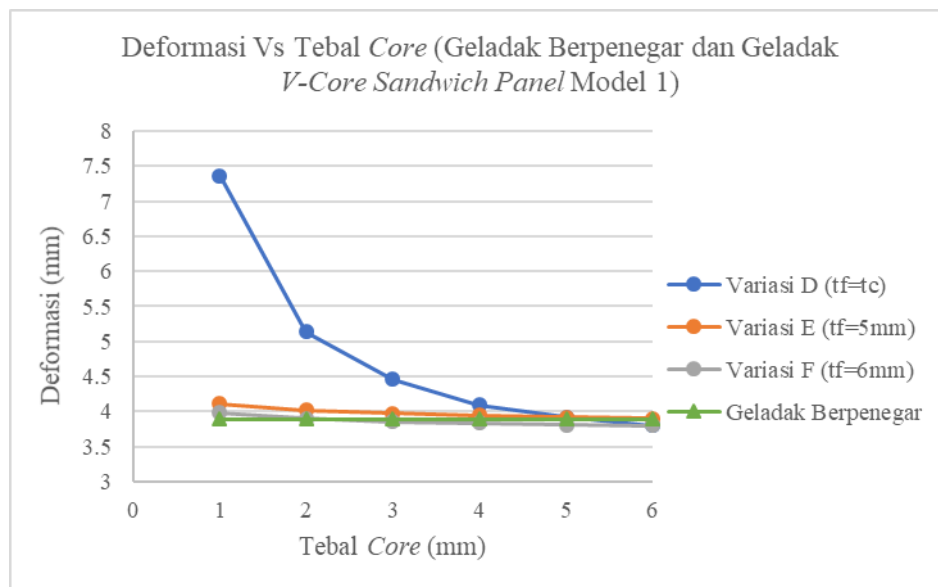
Gambar V.6. Grafik Tegangan Vs Tebal Core (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 1)

Keterangan Variasi D sampai dengan Variasi F pada Gambar V.6 merupakan variasi ketebalan pada *v-core sandwich panel* untuk *face* yang sama tetapi memiliki tebal *core* yang berbeda dari 1-6 mm yang detailnya dapat dilihat pada Tabel V.2. Tegangan izin ditunjukkan dengan grafik warna biru dan tegangan geladak berpenegar ditunjukkan dengan grafik berwarna *orange* untuk dibandingkan dengan *v-core sandwich panel* variasi D s/d variasi F. Besar tegangan *v-core sandwich panel* model 1 kurang dari geladak berpenegar pada saat ketebalan *core* sandwich 5 mm. Semakin bertambahnya ketebalan pelat maka tegangan akan semakin kecil.



Gambar V.7. Grafik Deformasi Vs Tebal Core (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 1)

Grafik pada Gambar V.7 menunjukkan hubungan antara deformasi dan tebal pelat. Semakin besar tegangan maka deformasi juga akan semakin besar dan sebaliknya. Terlihat bahwa nilai deformasi *v-core sandwich panel* memiliki besar yang mendekati deformasi geladak berpenegar saat tebal *face* 5 mm dan 6 mm untuk variasi A sampai variasi C. Besar deformasi geladak berpenegar yang nilainya kurang dari geladak berenegar adalah pada ketebalan 6-5-6 mm dan tebal 6-6-6 mm dengan besar deformasi berturut turut adalah 3,812 dan 3,795.

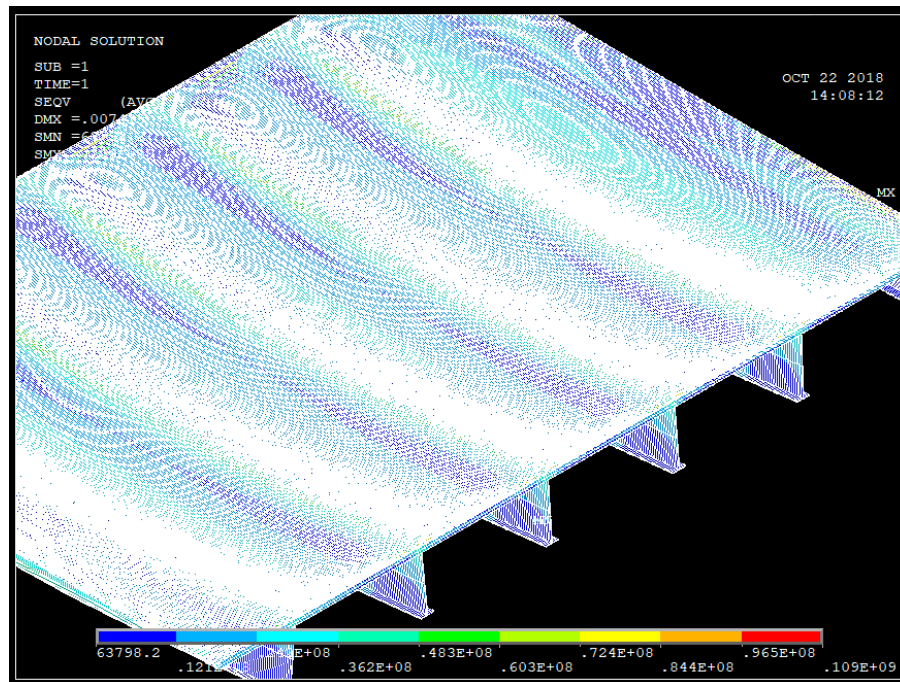


Gambar V.8. Grafik Deformasi Vs Tebal Core (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 1)

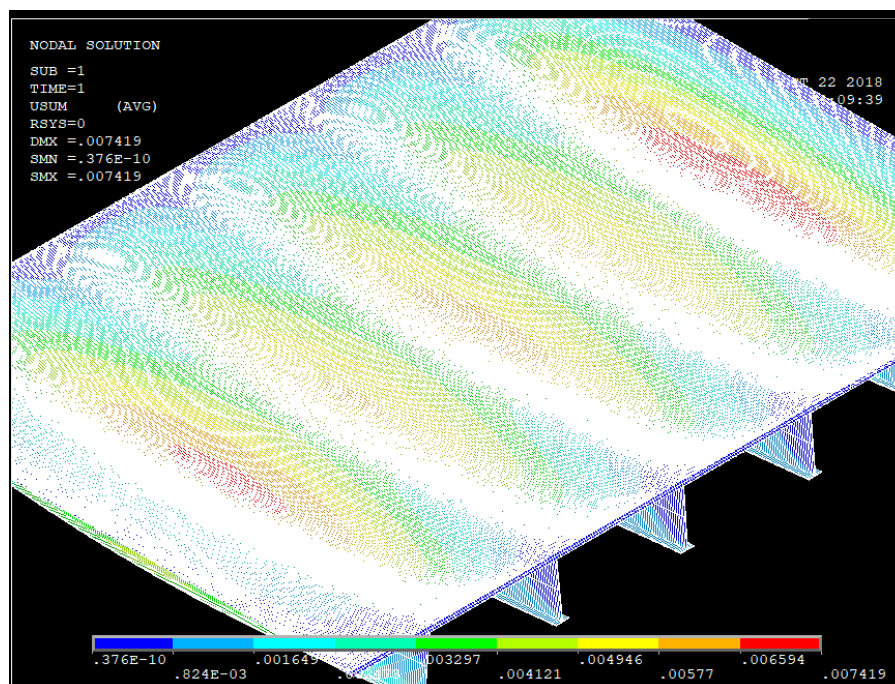
Berdasarkan Grafik pada Gambar V.8 menunjukkan hubungan antara deformasi dan tebal *core* geladak *v-core sandwich panel* yang akan dibandingkan dengan geladak berpenegar. Variasi D dan F memiliki nilai deformasi yang kecil saat tebal *core* 6. Sedangkan untuk variasi E nilai deformasinya masih lebih besar dari pada deformasi geladak berpenegar.

V.3.2. Geladak dengan V-Core Sandwich Panel Model 2

Hasil tegangan dan deformasi pada *v-core sandwich panel* dengan tinggi 55 mm dapat dilihat pada Tabel V.3 dan Tabel V.4. Selain itu akan ditunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi untuk *v-core sandwich panel* pada ketebalan *face* 2 mm dan *core* 5 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.9 dan Gambar V.10. Berdasarkan Sub-Bab II.1.7 dijelaskan bahwa untuk mengetahui nilai tegangan yang diperbolehkan pada model struktur, digunakan tegangan *von mises*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar V.9 adalah tegangan yang terjadi pada model 2 menggunakan interpretasi tegangan *von mises*. Berdasarkan Gambar V.9 tegangan terbesar terjadi pada pelat *face* bagian belakang *v-core sandwich panel* dengan tegangan *von mises* maksimal yang terjadi sebesar 109 MPa. Nilai tegangan minimum ditunjukkan dengan warna biru yaitu sebesar 0,0638 Mpa.



Gambar V.9. Tegangan pada Geladak dengan V-Core Sandwich Panel Model 2



Gambar V.10. Deformasi pada Geladak dengan V-Core Sandwich Panel Model 2

Terlihat dari Gambar V.10 bahwa deformasi maksimal yang terjadi pada model sebesar 7,419 mm untuk *v-core sandwich panel* pada tebal *face* 2 mm dan *core* sebesar 5 mm. Deformasi terbesar terjadi ditengah karena tumpuan berada di sisi-sisi truktur sehingga ketika diberi beban konsentrasinya cenderung terpusat. Nilai deformasi minimum pada model ditunjukkan dengan

area berwarna biru yaitu sebesar 0,0000000376 mm. Nilai deformasi diambil berdasarkan hasil jumlah dari deformasi yang terjadi pada tiga arah sumbu, yaitu deformasi pada arah sumbu-X, deformasi pada arah sumbu-Y, dan deformasi pada arah sumbu-Z.

Seperti dijelaskan sebelumnya, bahwa variasi dari model pelat *sandwich* selain dari variasi tinggi *core* juga terdapat variasi ketebalan *tf* dan *tc*. Besar tegangan dan deformasi untuk variasi *tf* (tebal *face*) dan *tc* (tebal *core*) saat ketinggian *core* 55 mm dapat dilihat pada Tabel V.3 dan Tabel V.4. Tabel V.3 yang terdiri dari variasi A yaitu tebal *core*nya sama dengan tebal *face*, variasi B tebal *core* 5 mm dan variasi C tebal *core* 6 mm. Tebal *face* variasi A sampai variasi C yaitu 1-6 mm. Berdasarkan Tabel V.3 nilai tegangan dari keseluruhan variasi sudah kurang dari tegangan izin. Besar tegangan izin yaitu 175 Mpa. Akan tetapi, nilai tegangan *v-core sandwich panel* model 2 masih lebih besar dari tegangan geladak berpenegar. Besar tegangan geladak berpenegar yaitu 46, 7 Mpa. Besar tegangan terkecil untuk *sandwich panel* model 2 ada pada ketebalan *face* dan *core* 6 mm yaitu sebesar 55,2 Mpa.

Tabel V.4 berisi tegangan dan deformasi geladak *v-core sandwich panel* model 2 yang terdiri dari variasi E dimana tebal pelat *face*-nya sama dengan tebal pelat *core*, variasi F tebal *face* 5 mm dan variasi G tebal *face* 6 mm. Tebal *core* variasi A sampai variasi C yaitu 1-6 mm. Susunan pelat dari *sandwich panel* ini adalah *tf-tc-tf*. Dapat dilihat dari Tabel V.4 besar tegangan dari keseluruhan variasi sudah kurang dari tegangan izin. Walaupun demikian besar tegangan *v-core sandwich panel* model 2 masih lebih besar dari tegangan geladak berpenegar. Besar tegangan terkecil untuk *sandwich panel* model 2 ada pada ketebalan *core* dan *face* 6 mm yaitu sebesar 55,2 Mpa. Nilai deformasi maksimal untuk geladak dengan *sandwich panel* model 2 baik pada Tabel V.3 dan Tabel V.4 jika dibandingkan dengan besar deformasi geladak berpenegar nilainya masih lebih besar. Deformasi maksimum geladak berpenegar yaitu 3,886 mm. Nilai deformasi geladak berpenegar dengan *v-core sandwich panel* model dua yang paling kecil dari keseluruhan hasil running model didapatkan pada ketebalan *v-core sandwich panel* 6-6-6 mm dengan besar deformasi 4,889 mm. Tabel V.3 dan Tabel V.4 jika disajikan dalam bentuk grafik akan terlihat seperti pada Gambar V.11 sampai dengan Gambar V.14.

Tabel V.3 Nilai Tegangan dan Deformasi Saat t_c Sama (V-Core Sandwich Panel Model 2)

GELADAK DENGAN V-CORE SANDWICH PANEL H=55 mm												
Jenis Pelat	t_f (mm)	Variasi A				Variasi B				Variasi C		
		t_c (mm)	Tegangan (Mpa)	Tegangan Ijin (Mpa)	Syarat	Deformasi (mm)	t_c (mm)	Tegangan (Mpa)	Tegangan Ijin (Mpa)	Syarat	Deformasi (mm)	Deformasi (mm)
Sandwich Panel	1	1	338	175	TM	12.661	5	246	175	TM	9.346	8.894
	2	2	179	175	M	8.374	5	109	175	M	7.419	7.185
	3	3	115	175	M	6.75	5	80.6	175	M	6.397	6.248
	4	4	83.7	175	M	5.862	5	72.9	175	M	5.747	5.642
	5	5	66.1	175	M	5.292	5	66.1	175	M	5.292	5.213
	6	6	55.2	175	M	4.889	5	60	175	M	4.951	4.889
Geladak Berpenegar	-	-	46,7	175	M	3.886						

Tabel V.4 Nilai Tegangan dan Deformasi Saat t_f Sama (V-Core Sandwich Panel Model 2)

GELADAK DENGAN V-CORE SANDWICH PANEL H=55 mm												
Jenis Pelat	t_c (mm)	Variasi D				Variasi E				Variasi F		
		t_f (mm)	Tegangan (Mpa)	Tegangan Ijin (Mpa)	Syarat	Deformasi (mm)	t_f (mm)	Tegangan (Mpa)	Tegangan Ijin (Mpa)	Syarat	Deformasi (mm)	Deformasi (mm)
Sandwich Panel	1	1	338	175	TM	12.661	5	167	175	M	5.752	5.327
	2	2	179	175	M	8.374	5	110	175	M	5.585	5.184
	3	3	115	175	M	6.75	5	86.5	175	M	5.472	5.094
	4	4	83.7	175	M	5.862	5	74.5	175	M	5.377	5.019
	5	5	66.1	175	M	5.292	5	66.1	175	M	5.292	4.951
	6	6	55.2	175	M	4.889	5	60	175	M	5.213	4.889
Geladak Berpenegar	-	-	46,7	175	M	3.886						

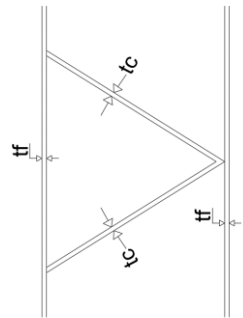
Keterangan:

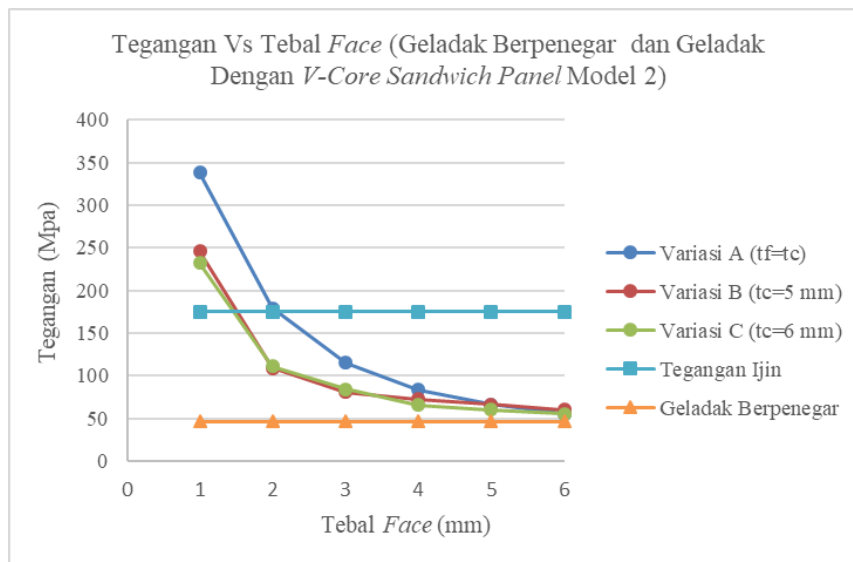
t_c =tebal *core*

t_f =tebal *face*

TM= Tidak Memenuhi

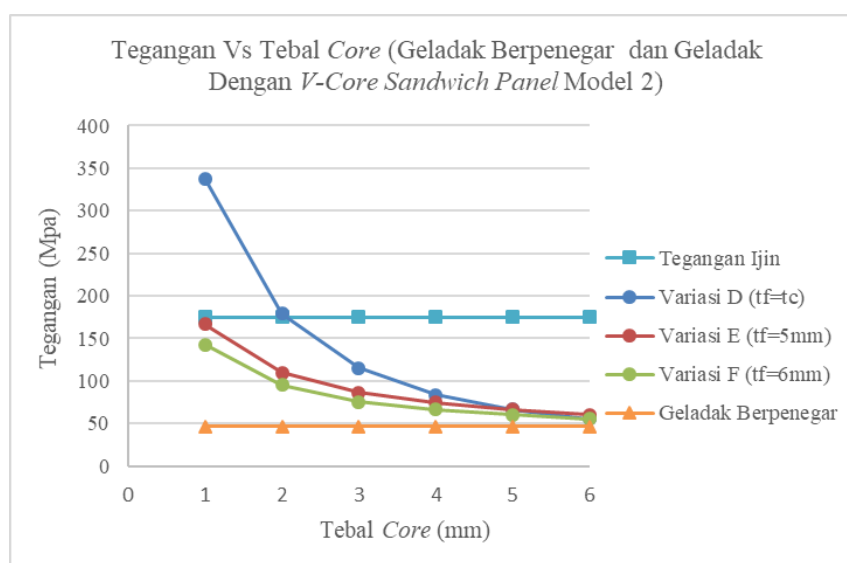
M= Memenuhi





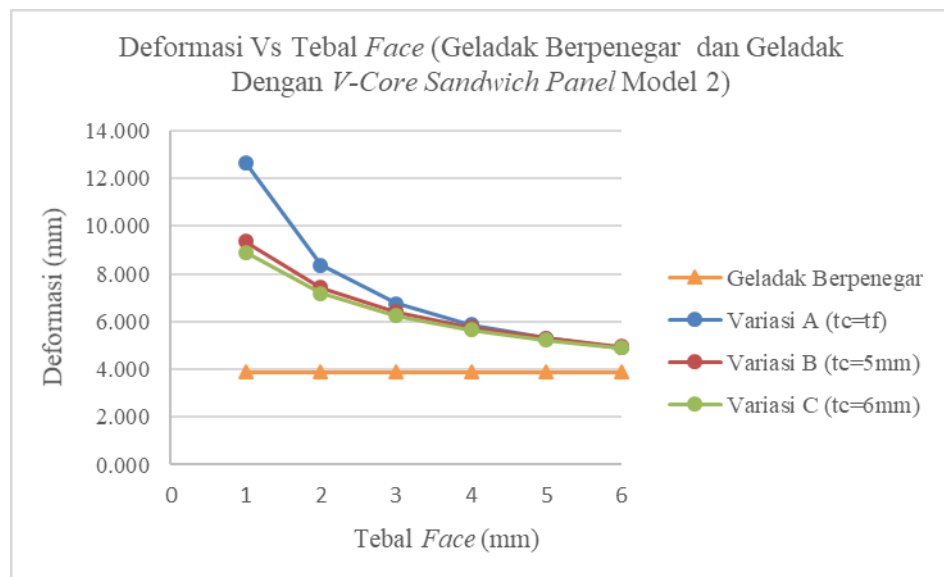
Gambar V.11. Grafik Tegangan Vs Tebal Face (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 2)

Gambar V.11 memperlihatkan hubungan antara tegangan dan tebal pelat *sandwich panel* jika *facenya* berubah dari tebal 1 mm sampai 6 mm tetapi *corenya* tetap untuk setiap variasi A samapi C. Tegangan izin sebesar 175 Mpa dan tegangan geladak berpenegar sebesar 46, 7 Mpa digunakan sebagai batasan. Nilai tegangan geladak dengan *v-core sandwich panel* yang baik adalah dimana besar tegangannya kurang dari tegagan izin dan kurang dari tegangan geladak berpenegar. Dilihat dari grafik yang disajikan, geladak dengan *v-core sandwich panel* model 2 yaitu saat ketinggian *corenya* 55 mm, nilai tegangannya ada yang sudah memenuhi tegangan izin namun secara keseluruhan dari semua variasi nilai tegangannya masih lebih besar dari tegangan geladak berpenegar.



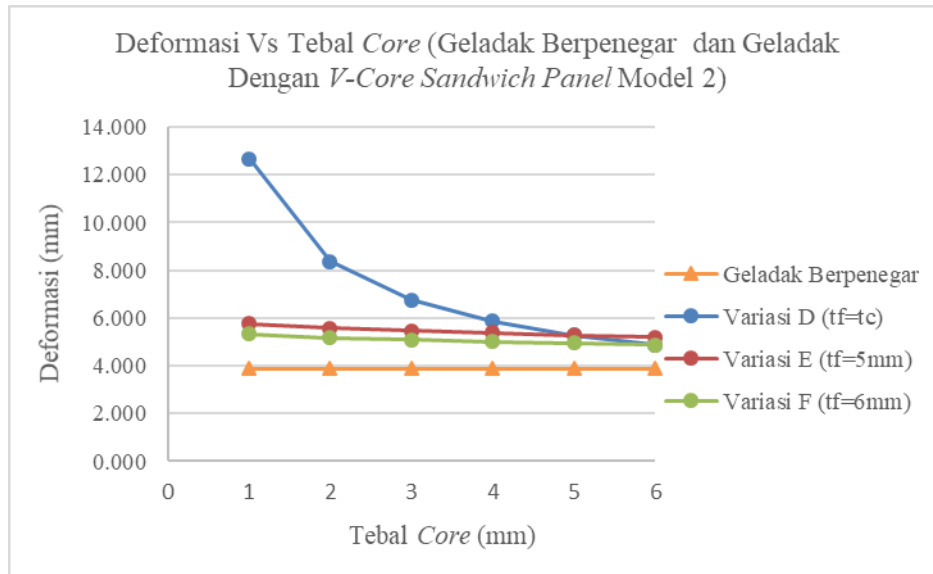
Gambar V.12. Grafik Tegangan Vs Tebal Core (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 2)

Grafik pada Gambar V.12 menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan grafik pada Gambar V.11. Variasi yang dilakukan adalah perubahan tebal *core* dari ukuran 1-6 mm sedangkan *facenya* tetap untuk setiap variasi. Dilihat dari grafik besar *tegangan* geledek dengan *v-core sandwich panel* masih lebih besar dari tegangan geledek berpenegar walaupun sudah ada variasi tebal pelat yang memenuhi tegangan izin. Tegangan yang baik adalah pada saat tegangan *v-core sandwich panel* lebih kecil dari tegangan yang diizinkan oleh regulasi dan tegangan geledek berpenegar.



Gambar V.13. Grafik Deformasi Vs Tebal Face (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 2)

Berdasarkan Grafik pada Gambar V.13 menunjukkan hubungan antara deformasi dan tebal *face* geledek *v-core sandwich panel* yang akan dibandingkan dengan geledek berpenegar. Dilihat dari grafik deformasi geledek berpenegar sebesar 3,886 mm berada digaris paling bawah dan jika dibandingkan dengan geledek dengan *v-core sandwich panel* model 2 pada variasi A sampai C memiliki nilai yang masih lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa model geledek berpenegar masih lebih baik dari pada model geledek dengan *v-core sandwich panel* dari segi deformasinya. Ketinggian *core* juga mempengaruhi besar deformasi yang terjadi pada *v-core sandwich panel*. Terlihat saat tinggi *core* 110 (Model 1) sudah ada deformasi yang nilainya lebih kecil dari geledek berpenegar tetapi untuk tinggi *core* 55 mm nilai deformasinya masih lebih besar dari geledek berpenegar.

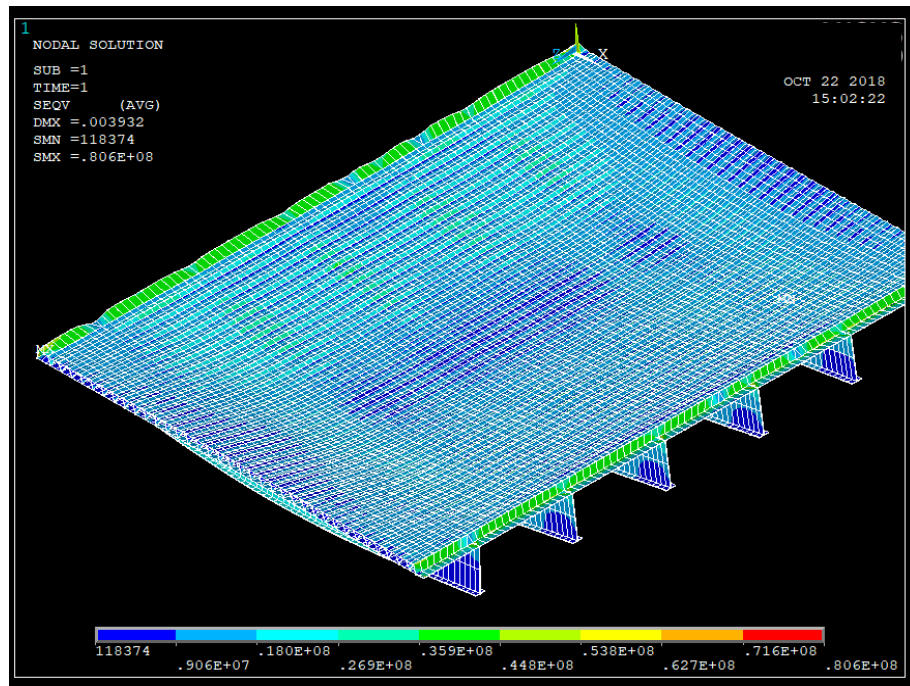


Gambar V.14. Grafik Deformasi Vs Tebal Core (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 2)

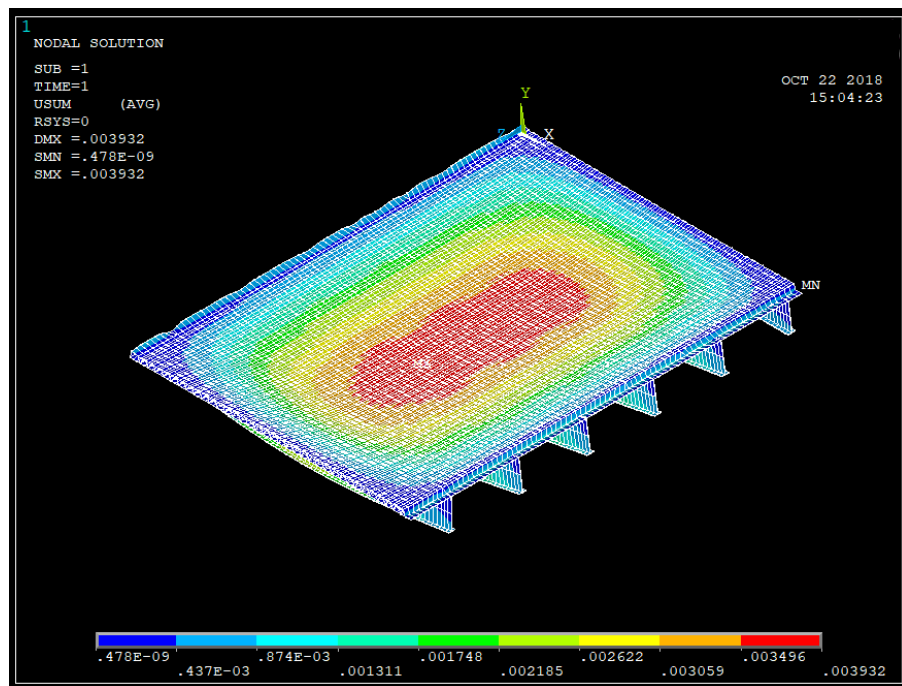
Hasil deformasi geladak dengan *v-core sandwich panel* model 2 juga tidak jauh berbeda yang ditunjukkan pada Gambar V.14 dimana besar deformasi nya masih lebih besar dari pada geladak berpenegar walaupun untuk variasi ini tebal *core*nya yang berbeda.

V.3.3. Geladak dengan V-Core Sandwich Panel Model 3

Besar tegangan dan deformasi pada *v-core sandwich panel* dengan tinggi 220 mm dan variasi ketebalan pelat *tf* dan *tc* dapat dilihat pada Tabel V.5 dan Tabel V.6. Selain itu, akan ditunjukkan salah satu hasil tegangan dan deformasi untuk ketebalan *face* 4 mm dan tebal *core* 6 mm seperti yang terlihat pada Gambar V.15 dan Gambar V.16. Berdasarkan Sub-Bab II.1.7 dijelaskan bahwa untuk mengetahui nilai tegangan yang diperbolehkan pada model struktur, digunakan tegangan *von mises*. Gambar V.15 memperlihatkan tegangan terbesar terjadi pada pertemuan antara pelat *face* dan *core* pada bagian ujung kiri depan pelat *sandwich* dengan tegangan *von mises* maksimal yang terjadi sebesar 80,6 MPa. Besar tegangan minimum model 3 ditunjukkan dengan warna biru yaitu sebesar 0,118 Mpa



Gambar V.15. Tegangan pada Geladak dengan V-Core Sandwich Model 3



Gambar V.16. Deformasi pada Geladak dengan V-Core Sandwich Panel Model 3

Berdasarkan Gambar V.16 dapat dilihat deformasi maksimal yaitu sebesar 3,932 mm. Deformasi terbesar terjadi ditengah karena tumpuan berada di sisi-sisi struktur. Ketika diberi beban konsentrasinya cenderung terpusat sehingga deformasi terbesar terjadi di tengah model. Nilai tegangan dan deformasi untuk variasi t_f dan t_c model 3 dapat dilihat pada Tabel V.5 dan Tabel V.6.

Tabel V.5 Nilai Tegangan dan Deformasi Saat t_c Sama (V-Core Sandwich Panel Model 3)

GELADAK DENGAN V-CORE SANDWICH PANEL H=220 mm											
Jenis Pelat	Variasi A				Variasi B				Variasi C		
	t_f (mm)	t_c (mm)	Tegangan (Mpa)	Tegangan Ijin (Mpa)	Syarat	Deformasi (mm)	t_c (mm)	Tegangan (Mpa)	Tegangan Ijin (Mpa)	Syarat	Deformasi (mm)
Sandwich Panel	1	1	992	175	TM	79.545	5	884	175	TM	60.878
	2	2	256	175	M	9.737	5	229	175	M	7.786
	3	3	130	175	M	4.387	5	121	175	M	4.259
	4	4	84.4	175	M	4.01	5	82.3	175	M	3.967
	5	5	62.2	175	M	3.781	5	62.2	175	M	3.781
	6	6	49.4	175	M	3.628	5	50	175	M	3.648
Geladak Berpenegar	-	-	46.7	175	M	3.886					

Tabel V.6 Nilai Tegangan dan Deformasi Saat t_f Sama (V-Core Sandwich Panel Model 3)

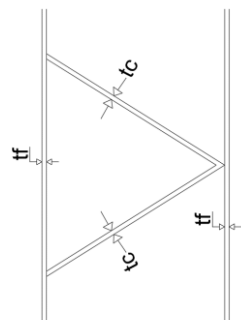
GELADAK DENGAN V-CORE SANDWICH PANEL H=220 mm											
Jenis Pelat	Variasi D				Variasi E				Variasi F		
	t_c (mm)	t_f (mm)	Tegangan (Mpa)	Tegangan Ijin (Mpa)	Syarat	Deformasi (mm)	t_f (mm)	Tegangan (Mpa)	Tegangan Ijin (Mpa)	Syarat	Deformasi (mm)
Sandwich Panel	1	1	992	175	TM	79.545	5	134	175	M	3.978
	2	2	256	175	M	9.737	5	87.3	175	M	3.889
	3	3	130	175	M	4.387	5	66.6	175	M	3.843
	4	4	84.4	175	M	4.01	5	63.2	175	M	3.808
	5	5	62.2	175	M	3.781	5	62.2	175	M	3.781
	6	6	49.4	175	M	3.628	5	61.2	175	M	3.758
Geladak Berpenegar	-	-	46.7	175	M	3.886					

Keterangan:

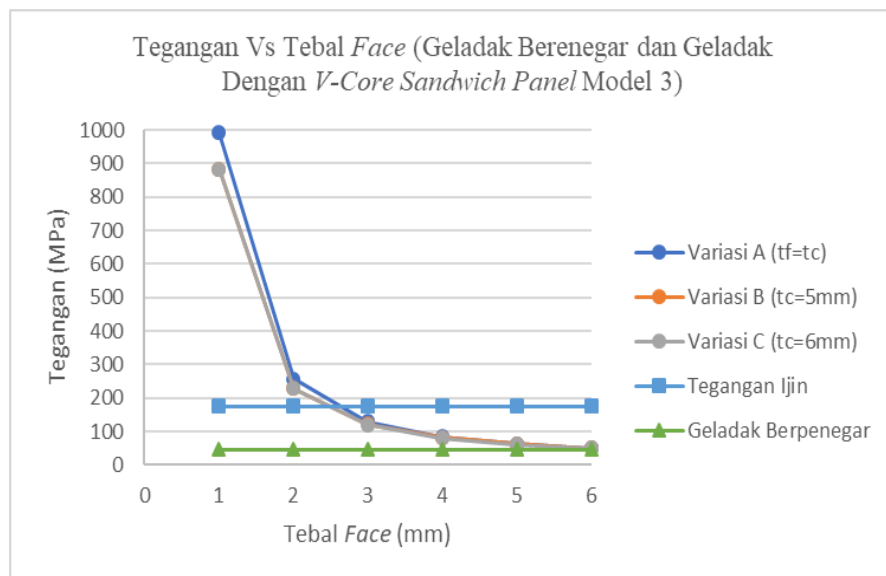
 t_c =tebal *core* t_f =tebal *face*

TM= Tidak Memenuhi

M= Memenuhi

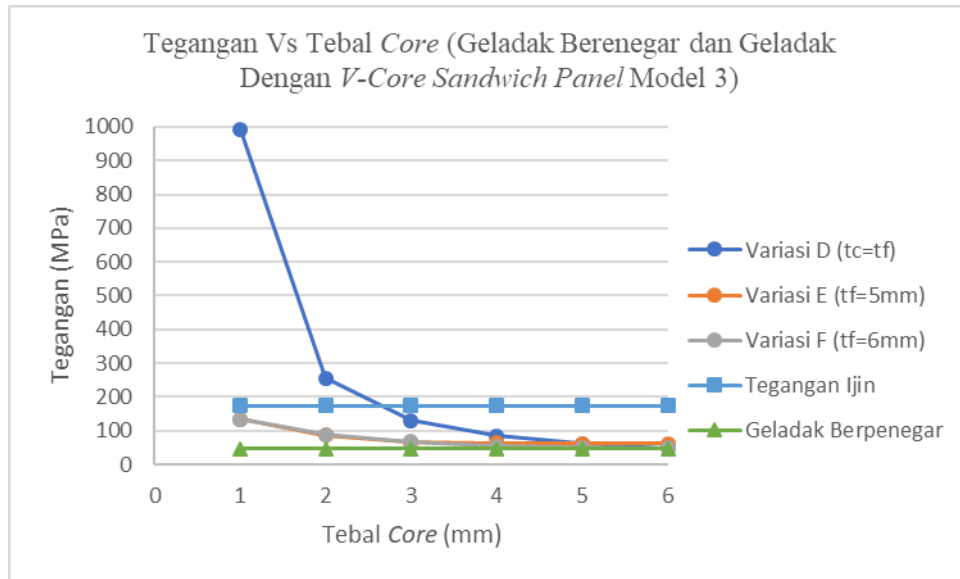


Geladak dengan *v-core sandwich panel* model 3 memiliki variasi tebal yang sama seperti variasi tebal pada model 1 dan 2. Dilihat dari Tabel V.5 dan Tabel V.6 menunjukkan nilai tegangan *v-core sandwich panel* model 3 yang paling kecil adalah pada ketebalan pelat 6-6-6 mm. Besar tegangannya adalah 49,4 Mpa. Nilai tegangan ini masih lebih besar dari tegangan untuk geladak berpenegar yang memiliki nilai tegangan 46,7 Mpa. Besar deformasi lebih kecil pada ketebalan 5-5-5 mm, 6-6-6 mm untuk variasi A, B, C dan D jika dibandingkan deformasi pada geladak berpenegar. Besar deformasi variasi E lebih kecil dari deformasi geladak berpenegar saat tebal *face* 3-6 mm. Variasi F besar deformasi lebih kecil dari geladak berpenegar pada tebal *face* 1-6 mm. Tabel V.5 dan Tabel V.6 jika dibuat grafik maka akan terlihat seperti Gambar V.17 sampai Gambar V.20.



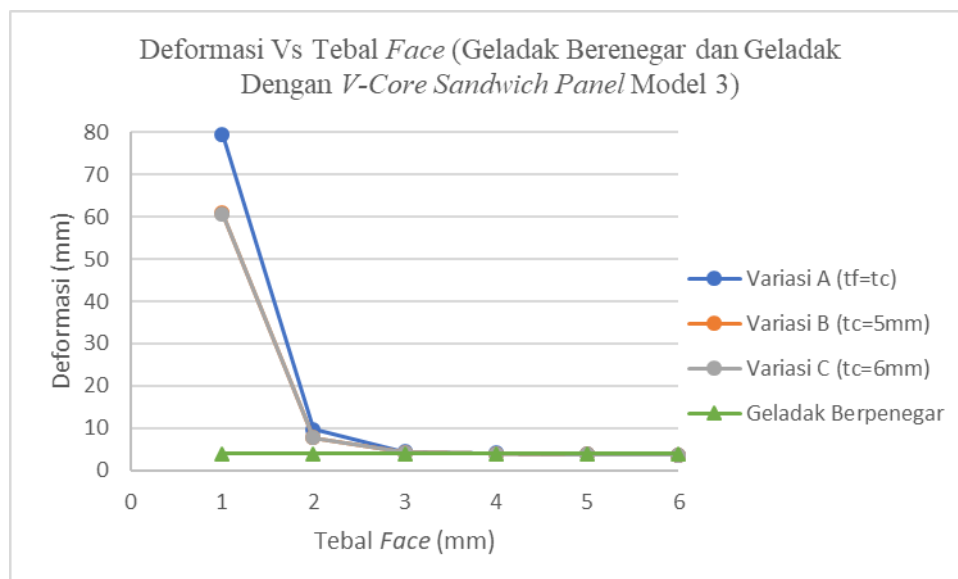
Gambar V.17. Grafik Tegangan Vs Tebal *Face* (Geladak Berpenegar dan *V-Core Sandwich Panel* Model 3)

Grafik pada Gambar V.17 menunjukkan semakin bertambahnya ketebalan pelat maka tegangan *v-core sandwich panel* akan semakin mendekati tegangan geladak berpenegar. Batasan tegangan berdasarkan grafik tegangan izin yang ditunjukkan dengan warna biru dan grafik geladak berpenegar ditunjukkan dengan warna hijau. Berdasarkan grafik untuk *v-core sandwich panel* saat tebal *face* 3 mm besar tegangannya lebih kecil dari tegangan yang diizinkan tetapi nilai ini masih lebih besar dari tegangan geladak berpenegar. Tegangan terkecil *v-core sandwich panel* model 3 ada pada tebal 6-6-6 mm dengan tegangan 49,4 Mpa.



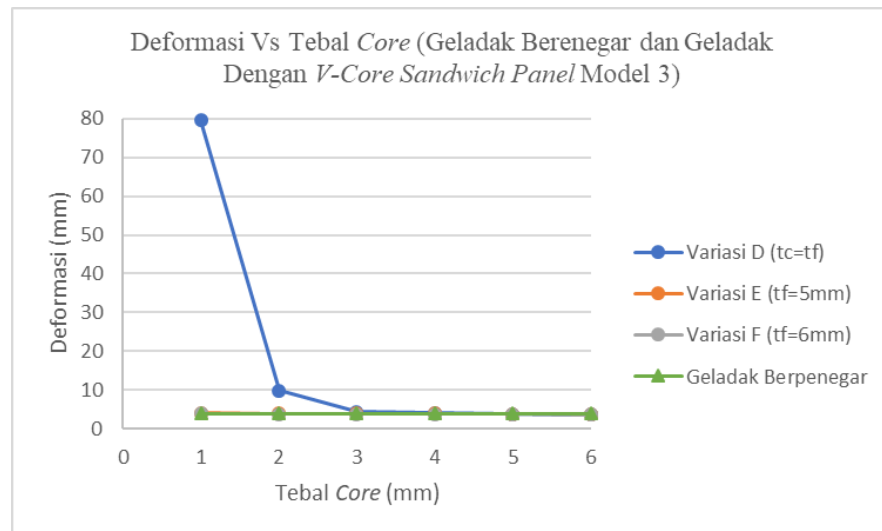
Gambar V.18. Grafik Tegangan Vs Tebal Core (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 3)

Tabel V.6 jika disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar V.18. Variasi D sampai variasi F memiliki besar tegangan yang lebih kecil dari tegangan izin tetapi besar tegangannya masih lebih besar jika dibandingkan dengan geladak berpenegar. Variasi E memiliki nilai yang lebih kecil dari tegangan izin saat tebal *core* mulai berada pada angka 3 mm. Terdapat grafik yang naik secara signifikan saat *core* berada pada ketebalan 1 mm. Hal ini menunjukkan saat ketebalan tersebut tegangan yang terjadi sangat besar. Hampir menyentuh 1000 Mpa.



Gambar V.19. Grafik Deformasi Vs Tebal Face (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 3)

Besar deformasi berbanding lurus dengan tegangan. Semakin besar tegangan maka deformasinya juga akan semakin besar. Hal ini terlihat pada grafik Gambar V.19 dimana nilai deformasi geladak dengan *v-core sandwich panel* sangat besar saat tebal *face* 1 mm untuk variasi A sampai variasi C. Besar deformasi saat tebal 1-1-1 mm yaitu 79,545 mm, tebal 1-5-1 mm sebesar 60,878 mm dan tebal 1-6-1 mm sebesar 60,711 mm.



Gambar V.20. Grafik Deformasi Vs Tebal Core (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 3)

Berdasarkan grafik pada Gambar V.20 dimana nilai deformasi pada variasi F sudah lebih kecil dari deformasi geladak untuk tebal *core* 1 sampai 6 mm. Besar deformasi *v-core sandwich panel* model 3 untuk variasi E lebih kecil untuk tebal *core* 3 sampai 6 mm dan variasi D saat tebal *core* 5 mm sampai 6 mm.

V.4. Berat Konstruksi

Berat konstruksi geladak berpenegar akan dibandingkan dengan geladak dengan *v-core sandwich panel* dan akan dicari berat geladak *v-core sandwich panel* yang lebih rendah dari geladak berpenegar dengan tegangan yang lebih kecil.

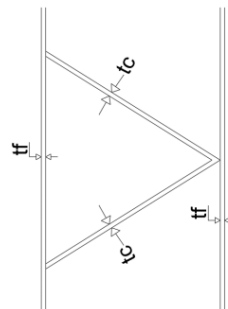
V.4.1. Berat Konstruksi Geladak V-Core Sandwich Panel Model 1

Rekapitulasi berat konstruksi dapat dilihat pada Tabel V.7 sampai dengan Tabel V.8. Data berat konstruksi didapat dari perhitungan manual dengan menggunakan *excel*.

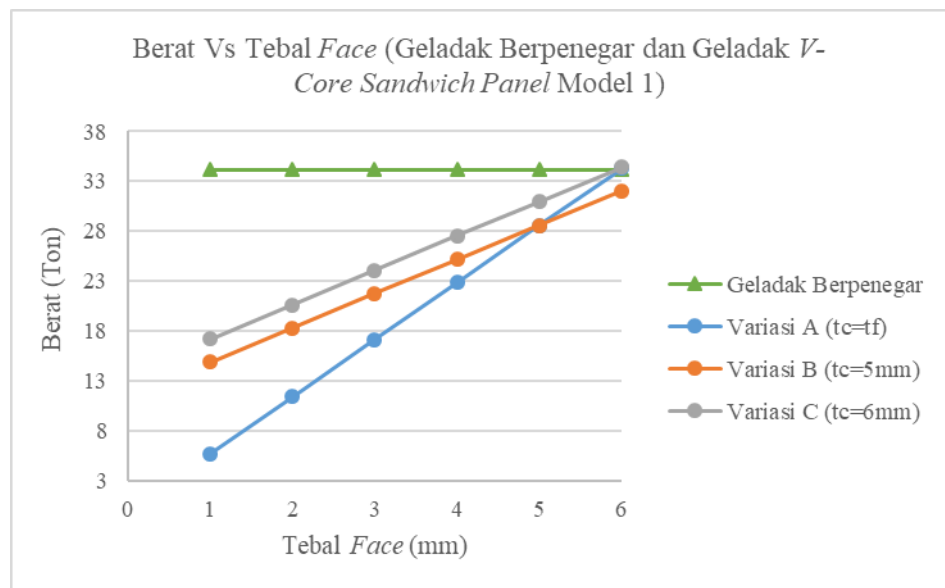
GELADAK DENGAN V-CORE SANDWICH PANEL H=110 mm									
		Variasi A			Variasi B			Variasi C	
Jenis Pelat	tf (mm)	tc (mm)	Berat (ton)	Perbedaan Berat (%)	tc (mm)	Berat (ton)	Perbedaan Berat (%)	tc (mm)	Perbedaan Berat (%)
Sandwich Panel	1	1	5.716415	83%	5	14.889882	56%	6	17.183249
	2	2	11.43283	67%	5	18.31293	46%	6	20.606297
	3	3	17.149245	50%	5	21.735979	36%	6	24.029345
	4	4	22.86566	33%	5	25.159027	26%	6	27.452393
	5	5	28.582075	16%	5	28.582075	16%	6	30.875442
	6	6	34.29849	0%	5	32.005123	6%	6	34.29849
Geladak Berpenegar	-	-	34.174818	-					

Tabel V.7 Berat Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 1

GELADAK DENGAN V-CORE SANDWICH PANEL H=110 mm									
		Variasi D			Variasi E			Variasi F	
Jenis Pelat	tc (mm)	tf (mm)	Berat (ton)	Perbedaan Berat (%)	tf (mm)	Berat (ton)	Perbedaan Berat (%)	tf (mm)	Perbedaan Berat (%)
Sandwich Panel	1	1	5.716415	83%	5	19.408607	43%	6	22.831655
	2	2	11.43283	67%	5	21.701974	36%	6	25.125022
	3	3	17.149245	50%	5	23.995341	30%	6	27.418389
	4	4	22.86566	33%	5	26.288708	23%	6	29.711756
	5	5	28.582075	16%	5	28.582075	16%	6	32.005123
	6	6	34.29849	0%	5	30.875442	10%	6	34.29849
Geladak Berpenegar	-	-	34.174818	-					



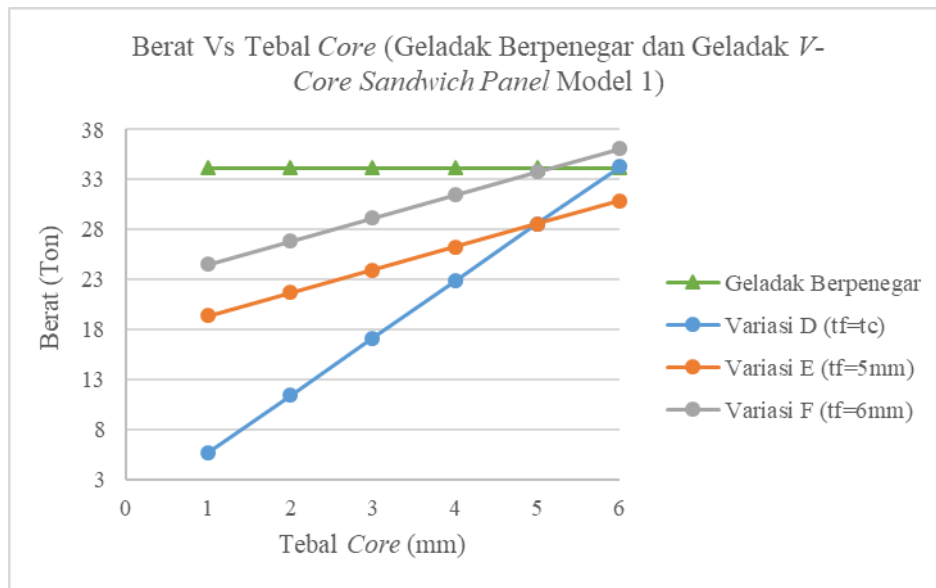
Tabel V.7 dan Tabel V.8 menunjukkan rekapitulasi berat antara geladak berpenegar dan *v-core sandwich panel* dengan tinggi *core* 110 mm. Geladak dengan *v-core sandwich panel* dibagi lagi menjadi variasi A s/d variasi F. Pembagian ini berdasarkan perbedaan ketebalan disetiap variasi. Jika dilihat dari tabel di atas, berat model 1 melebihi berat geladak berpenegar pada ketebalan 6-6-6 mm yaitu seberat 34,29 ton. Berdasarkan Tabel V.7 dan Tabel V.8 akan disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar V.21 dan Gambar V.22.



Gambar V.21. Grafik Berat Vs Tebal Face (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 1)

Gambar V.21 menunjukkan grafik berat terhadap tebal *face* antara geladak berpenegar dan geladak *v-core sandwich panel* pada model 1 dimana semakin tebal pelat maka semakin bertambah berat konstruksi. Keterangan Variasi A sampai dengan Variasi C merupakan variasi ketebalan pada *v-core sandwich panel* yang detailnya dapat dilihat pada Tabel V.7. Berat dari geladak berpenegar adalah 34 ton yang merupakan berat batasan untuk geladak *sandwich* pada penelitian ini dimana nilainya harus kurang dari berat geladak berpenegar ditunjukkan dengan grafik berwarna hijau. Gambar V.21 grafik yang berada dibawah grafik berwarna hijau menunjukkan berat *v-core sandwich panel* model 1 lebih kecil dari berat geladak berpenegar sedangkan grafik yang berada diatasnya merupakan berat *v-core sandwich panel* model 1 yang

melebihi berat geladak berpenegar. Berdasarkan grafik pada variasi A dan C berat *v-core sandwich panel* lebih besar dari geladak berpenegar saat tebal *face* 6 mm.



Gambar V.22. Grafik Berat Vs Tebal Core (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 1)

Gambar V.22 menunjukkan grafik berat terhadap tebal *core* geladak *v-core sandwich panel* pada model 1. Semakin tebal pelat maka semakin bertambah berat konstruksi. Keterangan variasi D sampai dengan Variasi F merupakan variasi ketebalan pada *v-core sandwich panel* yang detailnya dapat dilihat pada Tabel V.8. Berat batasan untuk geladak *sandwich* pada penelitian ini sebesar 34 ton. Berat geladak dengan *v-core sandwich panel* harus kurang dari 34 ton sehingga dapat digunakan sebagai pertimbangan alternatif pengganti geladak berpenegar. Berdasarkan grafik pada variasi D, berat *v-core sandwich panel* lebih besar dari geladak berpenegar saat tebal *core* 6 mm sementara untuk variasi E beratnya kurang dari geladak berpenegar untuk semua variasi ketebalan *core*. Variasi F memiliki berat yang lebih besar saat tebal *core* 6 mm.

V.4.2. Berat Konstruksi Geladak V-Core Sandwich Panel Model 2

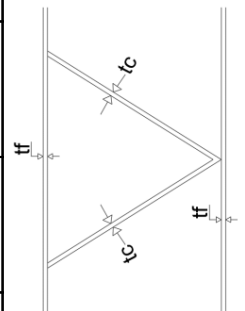
Rekapitulasi berat ditunjukkan pada Tabel V.9 dan Tabel V.10 merupakan perbandingan berat antara geladak berpenegar dan *v-core sandwich panel* dengan tinggi *core* 55 mm. Sama seperti model 1, berat model 2 melebihi berat geladak berpenegar pada ketebalan 6-6-6 mm.

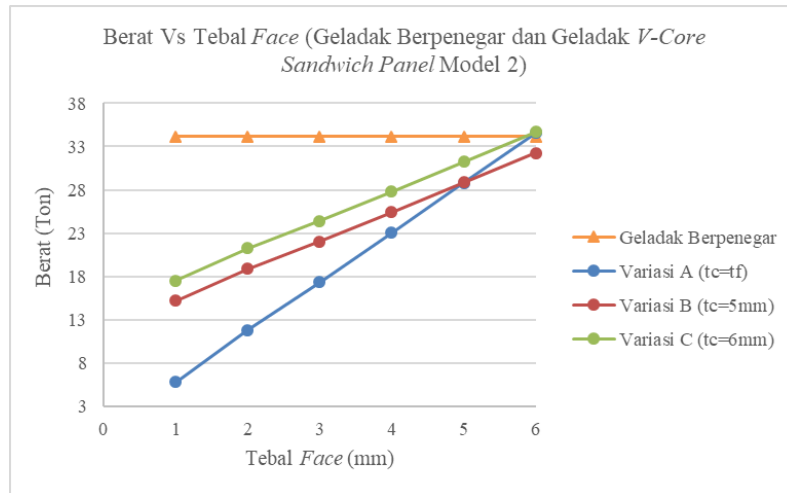
Tabel V.9 Berat Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 2

GELADAK DENGAN V-CORE SANDWICH PANEL H=55 mm									
Jenis Pelat	Variasi A			Variasi B			Variasi C		
	tf (mm)	tc (mm)	Berat (ton)	Perbedaan Berat (%)	tc (mm)	Berat (ton)	Perbedaan Berat (%)	tc (mm)	Perbedaan Berat (%)
Sandwich Panel	1	1	5.7636964	83%	5	15.14254	56%	6	49%
	2	2	11.799906	65%	5	18.834039	45%	6	38%
	3	3	17.332066	49%	5	22.021488	36%	6	29%
	4	4	23.054786	33%	5	25.399497	26%	6	19%
	5	5	28.818482	16%	5	28.818482	16%	6	9%
	6	6	34.582179	-1%	5	32.237468	6%	6	-1%
Geladak Berpenegar	-	-	34.174818	-					

Tabel V.10 Berat Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 2

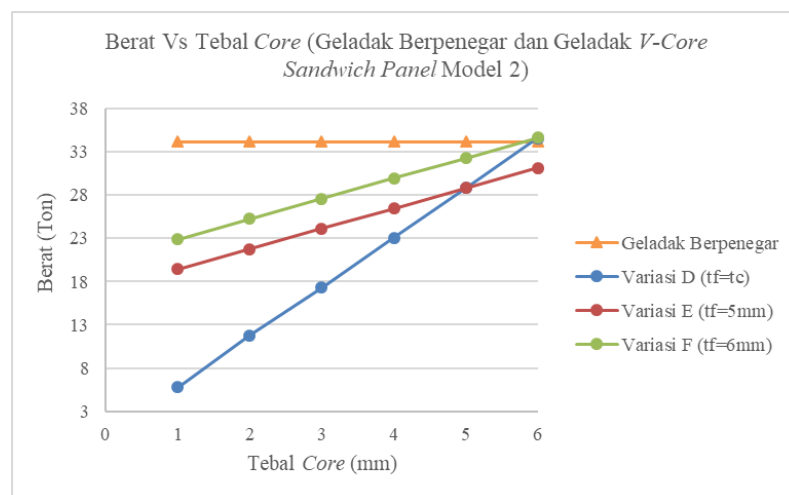
GELADAK DENGAN V-CORE SANDWICH PANEL H=55 mm									
Jenis Pelat	Variasi D			Variasi E			Variasi F		
	tc (mm)	tf (mm)	Berat (ton)	Perbedaan Berat (%)	tf (mm)	Berat (ton)	Perbedaan Berat (%)	tf (mm)	Perbedaan Berat (%)
Sandwich Panel	1	1	5.7636964	83%	5	19.439639	43%	6	33%
	2	2	11.799906	65%	5	21.78435	36%	6	26%
	3	3	17.332066	49%	5	24.12906	29%	6	19%
	4	4	23.054786	33%	5	26.473771	23%	6	13%
	5	5	28.818482	16%	5	28.818482	16%	6	6%
	6	6	34.582179	-1%	5	31.163193	9%	6	-1%
Geladak Berpenegar	-	-	34.174818	-					





Gambar V.23. Grafik Berat Vs Tebal Face (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 2)

Perbedaan berat antara geladak berpenegar dengan geladak *v-core sandwich panel* untuk model 2 dapat dilihat pada Gambar V.23. variasi A dan C menunjukkan berat *v-core sandwich panel* lebih besar dari geladak berpenegar saat tebal face 6 mm.



Gambar V.24. Grafik Berat Vs Tebal Core (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 2)

Gambar V.24 menunjukkan grafik berat terhadap tebal core geladak *v-core sandwich panel* pada model 2. Berdasarkan grafik pada variasi D dan variasi F berat *v-core sandwich panel* lebih besar dari geladak berpenegar saat tebal core 6 mm Variasi E memiliki berat kurang dari geladak berpenegar untuk semua variasi ketebalan core.

V.4.3. Berat Konstruksi Geladak V-Core Sandwich Panel Model 3

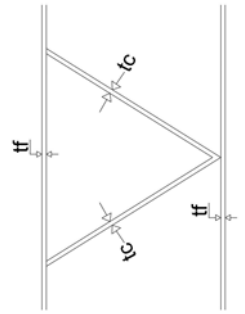
Rekapitulasi berat antara geladak berpenegar dan *v-core sandwich panel* dengan tinggi core 220 mm dapat dilihat pada Tabel V.11 dan Tabel V.12 sebagai berikut.

Tabel V.12 Berat Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 3

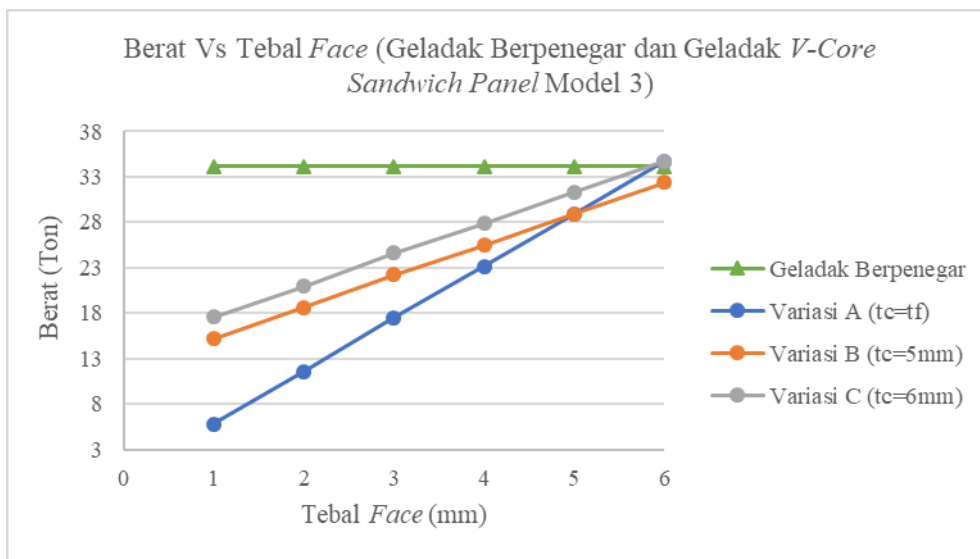
GELADAK DENGAN V-CORE SANDWICH PANEL H=220 mm										
			Variasi A			Variasi B			Variasi C	
Jenis Pelat	tf (mm)	tc (mm)	tc (mm)	Berat (ton)	Perbedaan Berat (%)	tc (mm)	Berat (ton)	Perbedaan Berat (%)	tc (mm)	Berat (ton)
Sandwich Panel	1	1	1	5.7843561	83%	5	15.191431	56%	6	17.5432
	2	2	2	11.568712	66%	5	18.624019	46%	6	20.975788
	3	3	3	17.353068	49%	5	22.239523	35%	6	24.591292
	4	4	4	23.137424	32%	5	25.489193	25%	6	27.840962
	5	5	5	28.92178	15%	5	28.92178	15%	6	31.273549
	6	6	6	34.706136	-2%	5	32.354368	5%	6	34.706136
Geladak Berpenegar	-	-	-	34.174818	-					

Tabel V.11 Berat Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 3

GELADAK DENGAN V-CORE SANDWICH PANEL H=220 mm										
			Variasi D			Variasi E			Variasi F	
Jenis Pelat	tc (mm)	tf (mm)	tf (mm)	Berat (ton)	Perbedaan Berat (%)	tf (mm)	Berat (ton)	Perbedaan Berat (%)	tf (mm)	Berat (ton)
Sandwich Panel	1	1	1	5.7843561	83%	5	19.514705	43%	6	22.947292
	2	2	2	11.568712	66%	5	21.866474	36%	6	25.299061
	3	3	3	17.353068	49%	5	24.218243	29%	6	27.65083
	4	4	4	23.137424	32%	5	26.570012	22%	6	30.002599
	5	5	5	28.92178	15%	5	28.92178	15%	6	32.354368
	6	6	6	34.706136	-2%	5	31.273549	8%	6	34.706136
Geladak Berpenegar	-	-	-	34.174818	-					

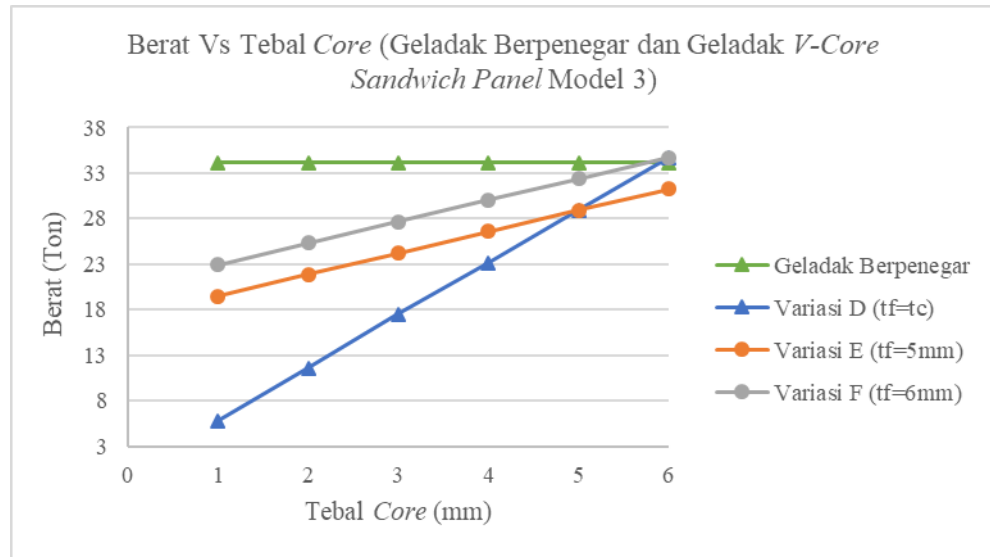


Dilihat dari hasil rekapitulasi berat secara keseluruhan pada Tabel V.11 dan Tabel V.12 geladak dengan *v-core sandwich panel* memiliki berat yang melebihi berat geladak berpenegar saat ketebalan pelat 6-6-6 mm. Model geladak *v-core sandwich panel* pada ketebalan tersebut tidak bisa digunakan sebagai acuan pengganti geladak berpenegar. Tabel V.11 dan Tabel V.12 jika disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat ada Gambar V.25 dan Gambar V.26 sebagai berikut.



Gambar V.25. Grafik Berat Vs Tebal Face (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 3)

Gambar V.25 menunjukkan perbedaan berat antara geladak berpenegar dengan geladak *v-core sandwich panel* model 3. Grafik berwarna hijau menunjukkan berat pelat berpenegar sebagai batasan berat untuk geladak dengan *v-core sandwich panel* sebesar 34 ton. Grafik yang berada diatas grafik berwarna hijau menunjukkan bahwa berat geladak dengan *v-core sandwich panel* lebih besar dari berat geladak berpenegar. Oleh karena itu, area di atas grafik batasan tidak dapat digunakan sebagai alternatif pengganti geladak berpenegar karena lebih berat walaupun tegangan dan deformasinya lebih kecil dari geladak berpenegar. Berat geladak dengan *v-core sandwich panel* yang baik adalah berat yang lebih kecil dari geladak berpenegar dengan tegangan yang lebih kecil dari tegangan yangizinkan dan tegangan geladak berpenegar. Dilihat dari Gambar V.25. variasi A dan C mengalami kenaikan berat saat tebal *face* 6 mm sementara untuk variasi B tidak terjadi kenaikan berat.



Gambar V.26. Grafik Berat Vs Tebal Core (Geladak Berpenegar dan V-Core Sandwich Panel Model 3)

Berdasarkan Gambar V.26 grafik berat terhadap tebal *core* geladak *v-core sandwich panel* pada model 3 untuk variasi D, berat *v-core sandwich panel* lebih besar dari geladak berpenegar saat tebal *core* 6 mm. Variasi F memiliki berat kurang dari geladak berpenegar saat tebal *core* 1 mm sampai 5 mm. Variasi E menunjukkan tidak ada kenaikan berat untuk semua variasi ketebalan *core*.

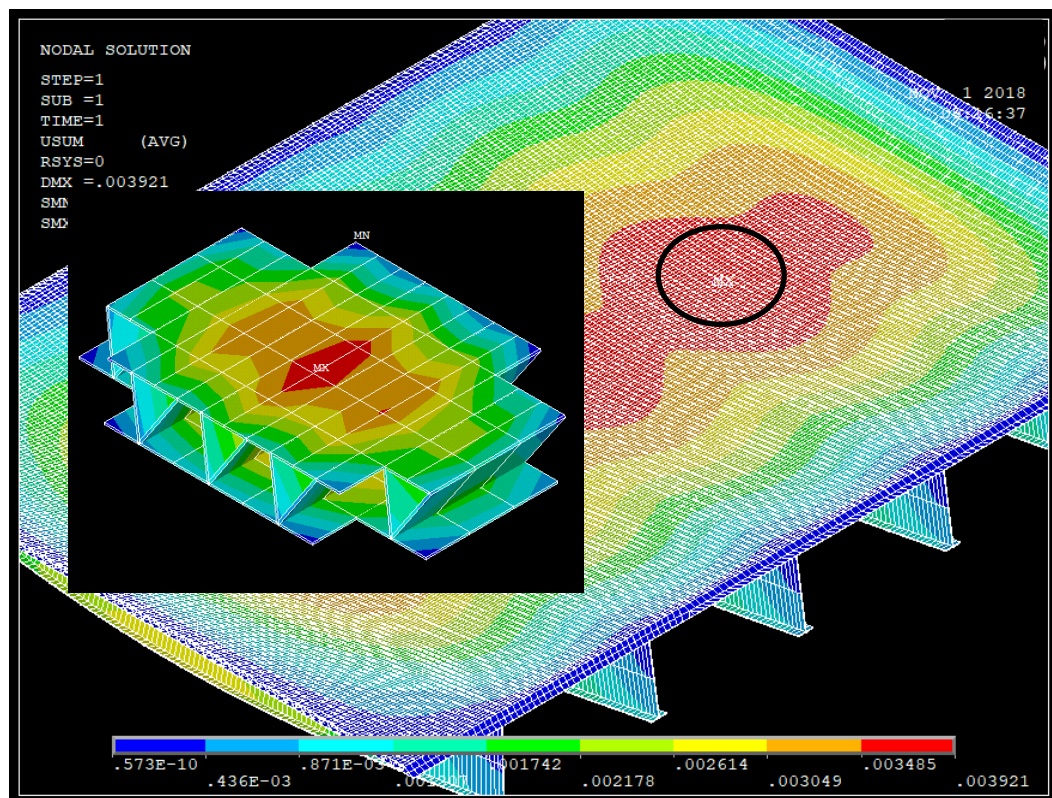
V.5. Tegangan Maksimum

Letak tegangan maksimum yang terjadi pada pelat *sandwich* tergantung oleh susunan ketebalan *face* dan *core* pelat *sandwich* tersebut. Misalnya untuk ketebalan pelat 1-5-1 mm dan 2-6-2 mm letak tegangan tertinggi berada di permukaan pelat tipis yang dikenai beban langsung. Sedangkan untuk ketebalan *face* yang lebih besar dari ketebalan *core*-nya seperti pada susunan pelat *sandwich* 5-2-5 mm dan 6-1-6 mm tegangan tertinggi akan terletak pada pelat yang lebih tipis (pelat *core*). Umumnya letak tegangan tertinggi ini hanya berada disatu titik. Misalnya jika tegangan terbesar berada di *v-core* maka letak tegangannya akan berada diujung salah satu *v-core* begitu juga jika letak tegangan maksimum berada di *faceplate* maka letak tegangan tertingginya akan berada disalah satu ujung *faceplate* tersebut. Susunan pelat *sandwich* yang tebal *face* lebih kecil dari tebal *core* akan menghasilkan tegangan yang lebih besar dari pada tegangan dimana tebal *face* lebih besar dari ketebalan *core* jika terdapat perbedaan ketebalan yang cukup jauh misalnya pada pelat *sandwich* 1-4-1 mm nilai tegangan akan lebih besar dari pelat *sandwich* 4-1-4 mm. Penyebab terjadinya perbedaan letak tegangan maksimum ini karena

adanya perbedaan luas penampang. Semakin besar luas penampang modulus akan semakin besar. Modulus ini yang mempengaruhi besar kecilnya tegangan. Modulus besar tegangan akan kecil dan sebaliknya. Sehingga letak tegangan tertinggi akan berada di pelat yang lebih tipis. Semakin tebal pelat maka kekakuannya akan semakin besar. Hasil *running* setiap model akan dibandingkan tegangan maksimum antar model terhadap tegangan izin. Analisis dilakukan pada tegangan maksimum karena tegangan ini dianggap yang paling berpengaruh terhadap penentuan apakah konstruksi memenuhi aturan atau tidak. Nilai tegangan harus dibandingkan dengan harga tegangan yang diizinkan oleh regulasi. Nilai tegangan yang diperbolehkan yaitu 175 N/mm^2 . Hasil rekapitulasi nilai tegangan dapat dilihat pada Tabel V.1 sampai dengan Tabel V.6.

V.6. Deformasi Maksimum

Deformasi terbesar terdapat di area yang sama pada model 1, model 2 dan model 3 yaitu pada area tengah seperti pada Gambar V.4, Gambar V.10 dan Gambar V.16. Deformasi terbesar diakibatkan kondisi batas model yang berada disisi-sisi model. Secara umum letak deformasi terbesar berada di area tengah model karena pada area tengah tidak diberi kondisi batas dalam hal ini berperan sebagai tumpuan. Bagian yang diberi kondisi batas adalah bagian sisi-sisi model. Tumpuan ini berfungsi untuk mencegah model bertranslasi sehingga dapat menahan gaya atau beban dari arah vertikal. Oleh karena itu semakin ketengah deformasi akan semakin besar karena letaknya semakin jauh dari tumpuan (jauh dari bagian yang disangga kuat). Semakin tipis pelat maka deformasi akan semakin besar dan ketinggian *v-core sandwich panel* juga mempengaruhi besar deformasi. Salah satu contoh letak deformasi pada tebal pelat 5-5-5 mm dengan besar deformasi 3,921 mm terlihat pada Gambar V.27. Posisi pasti deformasi terbesar terletak dibagian tengah *v-core* tetapi hanya disatu tempat saja. Semakin tinggi pelat *sandwich* deformasi semakin kecil tetapi hal ini juga harus mempertimbangkan ketebalan pelat. Deformasi pada *v-core sandwich* panel harus dilihat apakah masuk dari daerah elastis deformasi untuk baja dengan pertambahan panjang maksimal 20 % dari panjang awal. Nilai deformasi dapat dilihat pada Tabel V.1 sampai dengan Tabel V.6.



Gambar V.27. Letak Deformasi Maksimum

Berdasarkan Gambar V.27 letak deformasi paling besar ditandai dengan lingkaran berwarna hitam. Bagian yang dilingkari tersebut jika diperbesar maka akan memperlihatkan posisi deformasi paling besar berada ditengah salah satu *v-core*.

V.7. Pembahasan Model Optimal

Model geladak kapal yang optimal antara geladak berpenegar dan geladak dengan *v-core sandwich panel* diambil dari hasil analisis antara model 1 sampai model 3. Pengambilan model yang optimal didasarkan pada hasil tegangan maksimum, deformasi maksimum, dan berat minimum. Apabila dilihat dari segi tegangan geladak dengan *v-core sandwich panel* harus memiliki tegangan kurang dari tegangan yang diizinkan dan tegangan geladak berpenegar. Tegangan yang diizinkan adalah 175 N/mm³ sedangkan tegangan geladak berpenegar adalah 46,7 Mpa Ketinggian *core* juga mempengaruhi tegangan dan deformasi pada model. Terlihat nilai tegangan paling baik terdapat pada *v-core sandwich panel* dengan ketinggian 110 mm. Hal ini dikarenakan momen inersia pada model 1 lebih besar dari momen inersia model 2. Sedangkan untuk model 3 karena jarak netral axisnya lebih panjang menyebabkan lengan

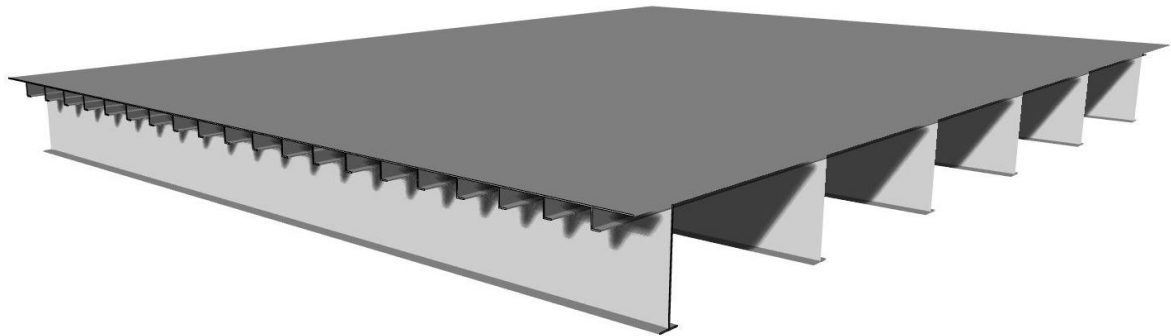
momen lebih besar oleh karena itu tegangannya lebih besar. Setelah tegangan ditentukan selanjutnya mencari berat yang paling ringan dari model *v-core sandwich panel* yang memiliki tegangan kurang dari 46,7 Mpa. Berdasarkan berat tersebut selanjutnya dibandingkan dengan berat geladak berpenegar. Berat *v-core sandwich panel* harus kurang dari berat geladak berpenegar dengan batasan yang digunakan adalah 34 ton. Seperti yang terlihat pada Tabel V.7 sampai dengan Tabel V.12 semakin tebal pelat maka berat semakin besar. Ketinggian *core* tidak mempengaruhi perbedaan berat yang signifikan antara *v-core sandwich panel* dengan tinggi 55 mm, 110 mm dan 220 mm. Model yang paling ringan tentu saja model *v-core sandwich panel* dengan tebal pelat *face* dan *core* 1 mm akan tetapi nilai tegangan dan deformasinya sangat besar melebihi tegangan dan deformasi pada geladak berpenegar bahkan melebihi tegangan izin oleh kelas. Pengurangan berat yang optimum perlu juga ditinjau dari tegangan dan deformasi pada *v-core sandwich panel*.

Berdasarkan penjelasan tersebut dapat diambil kesimpulan *geladak dengan v-core sandwich panel* yang paling baik adalah model *v-core sandwich panel* dengan tinggi *core* 110 mm dengan tebal 5-5-5 mm, 5-6-5 mm, dan 6-5-6 mm. Berikut hasil rekapitulasi *running* model pada berat tersebut yang dapat dilihat pada Tabel V.1.

Tabel V.13. Rekapitulasi Berat V-Core Sandwich Panel yang Kurang dari Tegangan Geladak Berpenegar

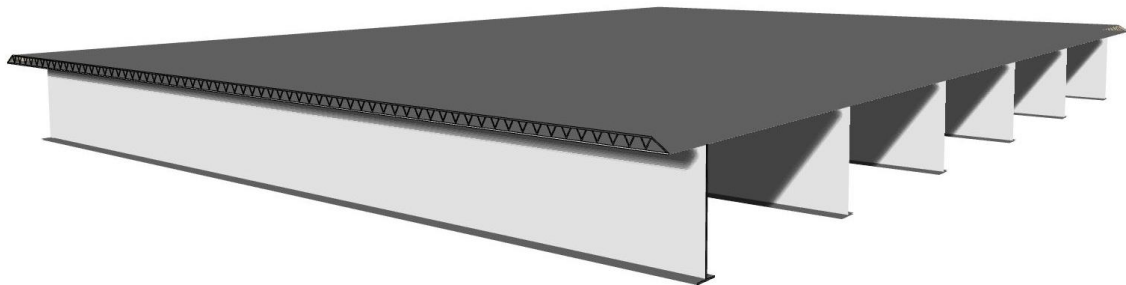
Jenis Pelat	Tegangan (Mpa)	Deformasi (mm)	Tebal (mm)	Berat (Ton)	Perbedaan Berat
Geladak Berpenegar	46,7	3,886	-	34,174818	-
<i>V-Core Sandwich Panel</i> Model 1 (H=110 mm)	44,8	3,921	5-5-5	28,58207	16 %
	44,7	3,9	5-6-5	30.875442	10 %
	44,1	3,812	6-5-6	32,005123	6 %

Berdasarkan Tabel V.13 geladak *v-core sandwich panel* yang paling ringan adalah model dengan tebal 5-5-5 mm dengan berat 28,58207 ton memiliki besar tegangan maksimum 44,8 Mpa dan memiliki besar deformasi maksimum adalah 3,921 mm. Besar deformasi pada baja masih masuk zona elastis karena nilai deformasi maksimal sebesar 3,921 mm dibandingkan dengan panjang awalnya yaitu 17,4 m masih kurang dari 20 % dan jika dilihat pada *software* elemen hingga perbedaan panjang sebelum dan sesudah mengalami deformasi hampir tidak terlihat. Geladak dengan *v-core sandwich panel* dengan tebal 5-5-5 mm memiliki berat 16% lebih ringan dari berat geladak berpenegar. Perbedaan konstruksi antara geladak berpenegar dan geladak dengan *v-core sandwich panel* dapat dilihat pada Gambar V.28 dan Gambar V.29.



Gambar V.28. Model Geladak Berpenegar

Geladak dengan *v-core sandwich panel* memiliki bentuk yang sama dengan geladak berpenegar tetapi untuk profil L tidak dimodelkan. Bagian pelat digantikan dengan pelat susunan *sandwich* yang terdiri dari pelat atas, *core* dengan bentuk V dan pelat bawah. Model geladak dengan *v-core sandwich panel* dapat dilihat pada Gambar V.29.



Gambar V.29. Model Geladak dengan V-Core Sandwich Panel

Halaman ini sengaja disongkan

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian tentang desain geladak menggunakan *v-core sandwich panel* maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Desain *v-core sandwich panel*

Dari hasil percobaan didapatkan desain *v-core sandwich panel* yang paling optimal adalah desain pada model 1 dengan tinggi *core* 110 mm, ketebalan *face* 5 mm, ketebalan *core* 5 mm, jarak antar *core* 62 mm dan lebar *core* 120 mm.

2. Hasil *running* pada model 1 didapatkan besar tegangan yaitu 44,8 Mpa dimana nilai ini sudah kurang dari tegangan izin dan kurang dari tegangan pelat berpenegar dengan besar deformasi 3,921 mm dan berat 28, 5827 ton.

VI.2. Saran

1. Penelitian berikutnya perlu adanya justifikasi dalam hal keuangan, sehingga model yang dipilih dapat ditentukan dan layak dalam hal teknis maupun ekonomi.
2. Spesifikasi komputer yang lebih tinggi dibutuhkan untuk mempercepat proses *meshing* maupun *running software*

Halaman ini sengaja disongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Adolfson, T. (2016). *Element to Element Joint of Corrugated Core Steel Sandwich Bridge Decks*. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- Ambule, K.G. and Kolhe, K.P. (2016). *FEM and Experimental Analysis of Stainless Steel Sandwich Panel for Weight Reduction*. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*. India.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code. (2017). *Section IX Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators*. New York: ASME Boiler and Pressure Vessel Committee.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2005). *Regulation for Corrosion Protection and Coating System*. Jakarta: BKI.
- Bureau Veritas. (2017). *Rules for the Classification of Steel Ship Part B*. France: BV.
- Cook, R. (1995). *Finite Element Modeling for Stress Analysis*. United State: John Wiley & Sons.
- Denney, P. (1998). *Corrugated Core LASCOR Structure in Shipbuilding and Other Applications*. Presentation Lightweight Sandwich Seminar. Helsinki, Finland.
- Gere, J. M. (2004). *Mechanics of Materials. Sixth Edition*. USA: Thompson Learning Book/Cole.
- Haryadi, B. (2008). *Teori Fisika Dasar*. Bandung.
- Hoque, K. (2016). *Analysis of Structural Discontinuities in Ship Hull Using Finite Element Method*. Bangladesh.
- Hutton, D. V. (2004). *Fundamentals of Finite Element Analysis*. New York: McGraw-Hill.
- Ishak, R.A. and Imriyanti. (2014). Laporan penulisan modul ajar mekanika teknik. Jurusan Arsitektur, Universitas Hasanuddin.
- Kanginan, Marthen. (2013). *Fisika untuk SMA/MA Kelas X*. Cimahi: Erlangga.
- Kujala, P. and Klanac, A. (2005). *Steel Sandwich Panels in Marine Application*. Ship Laboratory, Helsinki University of Technology. Espoo, Finland.
- Logan, D. (2007). *A First Course in The Finite Element Method*. Platteville: University of Wisconsin.

- Luebkeman, C. and Peting, D. (2012). Stress–strain curves.
- Marsico, T. A. et al. (1993). *Laser Welding of Lightweight Structural Steel Panels*. Proceedings of the Laser Materials Processing Conference, ICALWO'03 Orlando.
- Martha, L. F. and Pereira, A. (2014). *Mesh Generation*. Graz University of Technology, Austria.
- NDT Resource Center. (2014). *Stress and Strain*. Retrieved April 14, 2018, from web site: <http://www.nde-ed.org>
- Sand.Core. (2013). *Best Practice Guide for Sandwich Structure in Marine Applications*. University of Newcastle upon Tyne.
- Yamin, W. and Yongbo, S. (2013). *Prediction on Deflection of V-Core Sandwich Panels in Weak Direction*. *The Open Ocean Engineering Journal*. China.

LAMPIRAN

LAMPIRAN PERHITUNGAN BERAT GELADAK BERPENEGAR DAN GELADAK DENGAN *V-CORE* *SANDWICH PANEL*

Perhitungan Berat Geladak Berpenegar

pxlxt=	12,5x17,4x0,015	
=	3.2625	m3
Profil L=	0,199x17,4x0,011	0,043x17,4x0,022
=	0.0380886	0.01646
=	0.054549	m3
Total Profil L	1.09098	m3
Total Vol keseluruhan=	4.35348	m3
Berat=	34174.818	kg
=	34.174818	ton

PERHITUNGAN BERAT V-CORE SANDWICH PANEL MODEL 1 (H=110 mm)														
Tebal (mm)		Volume Face Plate (m3)			Volume Core (m3)		Total		Massa	Total Berat	Total Berat	Perbedaan		
tf	tc	Volume	Volume 2	Volume	Jumlah	Volume	Volume (m3)	Volume (m3)	Jenis	(kg)	(ton)	Berat (ton)	(%)	
1	1	0.4286	0.00746	0.4361	134	0.2921486	0.728205726	7850	5716.41495	5.71641495	5.71641495	28.45840305	83%	
2	2	0.85719	0.01492	0.8721	134	0.5842973	1.456411452	7850	11432.8299	11.4328299	11.4328299	22.7419881	67%	
3	3	1.28579	0.02238	1.3082	134	0.8764459	2.184617179	7850	17149.2449	17.1492449	17.1492449	17.02557315	50%	
4	4	1.71439	0.02984	1.7442	134	1.1685946	2.912822905	7850	22865.6598	22.8656598	22.8656598	11.3091582	33%	
5	5	2.14298	0.0373	2.1803	134	1.4607432	3.641028631	7850	28582.0748	28.5820748	28.5820748	5.592743246	16%	
6	6	2.57158	0.04476	2.6163	134	1.7528919	4.369234357	7850	34298.4897	34.2984897	34.2984897	-0.1236717	0%	
5	1	2.14298	0.0373	2.1803	134	0.2921486	2.47243406	7850	19408.6074	19.4086074	19.4086074	14.76621063	43%	
5	2	2.14298	0.0373	2.1803	134	0.5842973	2.764582703	7850	21701.9742	21.7019742	21.7019742	12.47284378	36%	
5	3	2.14298	0.0373	2.1803	134	0.8764459	3.056731346	7850	23995.3411	23.9953411	23.9953411	10.17947694	30%	
5	4	2.14298	0.0373	2.1803	134	1.1685946	3.348879988	7850	26288.7079	26.2887079	26.2887079	7.886110091	23%	
5	5	2.14298	0.0373	2.1803	134	1.4607432	3.641028631	7850	28582.0748	28.5820748	28.5820748	5.592743246	16%	
5	6	2.14298	0.0373	2.1803	134	1.7528919	3.933177274	7850	30875.4416	30.8754416	30.8754416	3.299376401	10%	
1	5	0.4286	0.00746	0.4361	134	1.4607432	1.896800297	7850	14889.8823	14.8898823	14.8898823	19.28493567	56%	
2	5	0.85719	0.01492	0.8721	134	1.4607432	2.332857381	7850	18312.9304	18.3129304	18.3129304	15.86188756	46%	
3	5	1.28579	0.02238	1.3082	134	1.4607432	2.768914464	7850	21735.9785	21.7359785	21.7359785	12.43883946	36%	
4	5	1.71439	0.02984	1.7442	134	1.4607432	3.204971548	7850	25159.0266	25.1590266	25.1590266	9.015791352	26%	
5	5	2.14298	0.0373	2.1803	134	1.4607432	3.641028631	7850	28582.0748	28.5820748	28.5820748	5.592743246	16%	
6	5	2.57158	0.04476	2.6163	134	1.4607432	4.077085715	7850	32005.1229	32.0051229	32.0051229	2.169695141	6%	
6	1	2.57158	0.04476	2.6163	134	0.2921486	2.908491144	7850	22831.6555	22.8316555	22.8316555	11.34316252	33%	
6	2	2.57158	0.04476	2.6163	134	0.5842973	3.200639786	7850	25125.0223	25.1250223	25.1250223	9.049795677	26%	
6	3	2.57158	0.04476	2.6163	134	0.8764459	3.492788429	7850	27418.3892	27.4183892	27.4183892	6.756428831	20%	
6	4	2.57158	0.04476	2.6163	134	1.1685946	3.784937072	7850	29711.756	29.711756	29.711756	4.463061986	13%	
6	5	2.57158	0.04476	2.6163	134	1.4607432	4.077085715	7850	32005.1229	32.0051229	32.0051229	2.169695141	6%	
6	6	2.57158	0.04476	2.6163	134	1.7528919	4.369234357	7850	34298.4897	34.2984897	34.2984897	-0.1236717	0%	
1	6	0.4286	0.00746	0.4361	134	1.7528919	2.18894894	7850	17183.2492	17.1832492	17.1832492	16.99156882	50%	
2	6	0.85719	0.01492	0.8721	134	1.7528919	2.625006023	7850	20606.2973	20.6062973	20.6062973	13.56852072	40%	
3	6	1.28579	0.02238	1.3082	134	1.7528919	3.061063107	7850	24029.3454	24.0293454	24.0293454	10.14547261	30%	
4	6	1.71439	0.02984	1.7442	134	1.7528919	3.49712019	7850	27452.3935	27.4523935	27.4523935	6.722424506	20%	
5	6	2.14298	0.0373	2.1803	134	1.7528919	3.933177274	7850	30875.4416	30.8754416	30.8754416	3.299376401	10%	
6	6	2.57158	0.04476	2.6163	134	1.7528919	4.369234357	7850	34298.4897	34.2984897	34.2984897	-0.1236717	0%	

PERHITUNGAN BERAT V-CORE SANDWICH PANEL MODEL 2 (H=55 mm)														
Tebal (mm)		Volume Face Plate (m3)			Volume Core (m3)			Total	Massa	Total Berat	Total Berat	Perbedaan	Perbedaan	
tf	tc	Volume	Volume 2	Volume	Jumlah	Volume	Volume	Volume (m3)	Jenis	(kg)	(ton)	Berat (ton)	(%)	
1	1	0.43187	0.00366	0.4355	274	0.2986893	0.734228846	7850	5763.69644	5.76369644	28.41112156	83%		
2	2	0.86375	0.04204	0.9058	274	0.5973786	1.503172743	7850	11799.906	11.799906	22.37491197	65%		
3	3	1.30084	0.01099	1.3118	274	0.8960679	2.207906539	7850	17332.0663	17.3320663	16.84275167	49%		
4	4	1.7275	0.01466	1.7422	274	1.1947571	2.936915386	7850	23054.7858	23.0547858	11.12003222	33%		
5	5	2.15937	0.01832	2.1777	274	1.4934464	3.671144232	7850	28818.4822	28.8184822	5.356335779	16%		
6	6	2.59125	0.02199	2.6132	274	1.7921357	4.405373078	7850	34582.1787	34.5821787	-0.40736066	-1%		
5	1	2.15937	0.01832	2.1777	274	0.2986893	2.476387096	7850	19439.6387	19.4396387	14.73517929	43%		
5	2	2.15937	0.01832	2.1777	274	0.5973786	2.77507638	7850	21784.3496	21.7843496	12.39046841	36%		
5	3	2.15937	0.01832	2.1777	274	0.8960679	3.073765664	7850	24129.0605	24.1290605	10.04575754	29%		
5	4	2.15937	0.01832	2.1777	274	1.1947571	3.372454948	7850	26473.7713	26.4737713	7.701046658	23%		
5	5	2.15937	0.01832	2.1777	274	1.4934464	3.671144232	7850	28818.4822	28.8184822	5.356335779	16%		
5	6	2.15937	0.01832	2.1777	274	1.7921357	3.969833516	7850	31163.1931	31.1631931	3.011624901	9%		
1	5	0.43187	0.00366	0.4355	274	1.4934464	1.928985982	7850	15142.54	15.14254	19.032227804	56%		
2	5	0.86375	0.04204	0.9058	274	1.4934464	2.399240595	7850	18834.0387	18.8340387	15.34077933	45%		
3	5	1.30084	0.01099	1.3118	274	1.4934464	2.805285107	7850	22021.4881	22.0214881	12.15332991	36%		
4	5	1.7275	0.01466	1.7422	274	1.4934464	3.235604669	7850	25399.4967	25.3994967	8.775321345	26%		
5	5	2.15937	0.01832	2.1777	274	1.4934464	3.671144232	7850	28818.4822	28.8184822	5.356335779	16%		
6	5	2.59125	0.02199	2.6132	274	1.4934464	4.106683794	7850	32237.4678	32.2374678	1.937350214	6%		
6	1	2.59125	0.02199	2.6132	274	0.2986893	2.911926659	7850	22858.6243	22.8586243	11.31619373	33%		
6	2	2.59125	0.02199	2.6132	274	0.5973786	3.210615943	7850	25203.3352	25.2033352	8.971482849	26%		
6	3	2.59125	0.02199	2.6132	274	0.8960679	3.509305227	7850	27548.046	27.548046	6.626771971	19%		
6	4	2.59125	0.02199	2.6132	274	1.1947571	3.807994511	7850	29892.7569	29.8927569	4.282061092	13%		
6	5	2.59125	0.02199	2.6132	274	1.4934464	4.106683794	7850	32237.4678	32.2374678	1.937350214	6%		
6	6	2.59125	0.02199	2.6132	274	1.7921357	4.405373078	7850	34582.1787	34.5821787	-0.40736066	-1%		
1	6	0.43187	0.00366	0.4355	274	1.7921357	2.227675266	7850	17487.2508	17.4872508	16.68756716	49%		
2	6	0.86375	0.04204	0.9058	274	1.7921357	2.697929879	7850	21178.7495	21.1787495	12.99606845	38%		
3	6	1.30084	0.01099	1.3118	274	1.7921357	3.103974391	7850	24366.199	24.366199	9.808619032	29%		
4	6	1.7275	0.01466	1.7422	274	1.7921357	3.534293953	7850	27744.2075	27.7442075	6.430610466	19%		
5	6	2.15937	0.01832	2.1777	274	1.7921357	3.969833516	7850	31163.1931	31.1631931	3.011624901	9%		
6	6	2.59125	0.02199	2.6132	274	1.7921357	4.405373078	7850	34582.1787	34.5821787	-0.40736066	-1%		

PERHITUNGAN BERAT V-CORE SANDWICH PANEL MODEL 3 (H=220 mm)												
Tebal (mm)		Volume Face Plate (m3)			Volume Core (m3)		Total		Massa	Total Berat	Total Berat	Perbedaan
tf	tc	Volume	Volume 2	Volume	Jumlah	Volume	Volume (m3)	Jenis	(kg)	(ton)	Berat (ton)	(%)
1	1	0.42324	0.01403	0.4373	70	0.2995884	0.736860646	7850	5784.35607	5.78435607	28.39046193	83%
2	2	0.84648	0.02807	0.8745	70	0.5991768	1.473721292	7850	11568.7121	11.5687121	22.60610586	66%
3	3	1.26971	0.0421	1.3118	70	0.8987652	2.210581938	7850	17353.0682	17.3530682	16.82174979	49%
4	4	1.69295	0.05614	1.7491	70	1.1983536	2.947442584	7850	23137.4243	23.1374243	11.03739372	32%
5	5	2.11619	0.07017	2.1864	70	1.4979419	3.684303229	7850	28921.7804	28.9217804	5.253037649	15%
6	6	2.53943	0.08421	2.6236	70	1.7975303	4.421163875	7850	34706.1364	34.7061364	-0.53131842	-2%
5	1	2.11619	0.07017	2.1864	70	0.2995884	2.485949679	7850	19514.705	19.514705	14.66011302	43%
5	2	2.11619	0.07017	2.1864	70	0.5991768	2.785538067	7850	21866.4738	21.8664738	12.30834418	36%
5	3	2.11619	0.07017	2.1864	70	0.8987652	3.085126454	7850	24218.2427	24.2182427	9.956575334	29%
5	4	2.11619	0.07017	2.1864	70	1.1983536	3.384714842	7850	26570.0115	26.5700115	7.604806492	22%
5	5	2.11619	0.07017	2.1864	70	1.4979419	3.684303229	7850	28921.7804	28.9217804	5.253037649	15%
5	6	2.11619	0.07017	2.1864	70	1.7975303	3.983891617	7850	31273.5492	31.2735492	2.901268806	8%
1	5	0.42324	0.01403	0.4373	70	1.4979419	1.935214196	7850	15191.4314	15.1914314	18.98338656	56%
2	5	0.84648	0.02807	0.8745	70	1.4979419	2.372486455	7850	18624.0187	18.6240187	15.55079933	46%
3	5	1.26971	0.06541	1.3351	70	1.4979419	2.83306027	7850	22239.5231	22.2395231	11.93529488	35%
4	5	1.69295	0.05614	1.7491	70	1.4979419	3.247030971	7850	25489.1931	25.4891931	8.685624877	25%
5	5	2.11619	0.07017	2.1864	70	1.4979419	3.684303229	7850	28921.7804	28.9217804	5.253037649	15%
6	5	2.53943	0.08421	2.6236	70	1.4979419	4.121575488	7850	32354.3676	32.3543676	1.820450421	5%
6	1	2.53943	0.08421	2.6236	70	0.2995884	2.923221937	7850	22947.2922	22.9472922	11.22752579	33%
6	2	2.53943	0.08421	2.6236	70	0.5991768	3.222810325	7850	25299.0611	25.2990611	8.875756949	26%
6	3	2.53943	0.08421	2.6236	70	0.8987652	3.522398713	7850	27650.8299	27.6508299	6.523988107	19%
6	4	2.53943	0.08421	2.6236	70	1.1983536	3.8219871	7850	30002.5987	30.0025987	4.172219264	12%
6	5	2.53943	0.08421	2.6236	70	1.4979419	4.121575488	7850	32354.3676	32.3543676	1.820450421	5%
6	6	2.53943	0.08421	2.6236	70	1.7975303	4.421163875	7850	34706.1364	34.7061364	-0.53131842	-2%
1	6	0.42324	0.01403	0.4373	70	1.7975303	2.234802584	7850	17543.2003	17.5432003	16.63161772	49%
2	6	0.84648	0.02807	0.8745	70	1.7975303	2.672074842	7850	20975.7875	20.9757875	13.19903049	39%
3	6	1.26971	0.06541	1.3351	70	1.7975303	3.132648657	7850	24591.292	24.591292	9.583526041	28%
4	6	1.69295	0.05614	1.7491	70	1.7975303	3.546619359	7850	27840.962	27.840962	6.333856034	19%
5	6	2.11619	0.07017	2.1864	70	1.7975303	3.983891617	7850	31273.5492	31.2735492	2.901268806	8%
6	6	2.53943	0.08421	2.6236	70	1.7975303	4.421163875	7850	34706.1364	34.7061364	-0.53131842	-2%

BIODATA PENULIS



Hilda Dwi Febriani, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Tembilahan pada 29 Februari 1996 silam, Penulis merupakan anak kedua dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada TK, kemudian melanjutkan ke SDN 7 Langkai SMPN 1 Pahandut, SMPN 1 Srengat, dan SMAN 2 Kediri. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2014 melalui jalur SBMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi, sekretaris Departemen Kewirausahaan HIMATEKPAL FTK ITS 2015, serta *staff* Departemen KWU HIMATEKPAL FTK ITS 2016/2017. Selan itu, Penulis juga pernah menjadi *peserta Chula International Innovation Challenge For Community* 2018.

Penulis tercatat pernah menjadi *grader* untuk mata kuliah Statistika dan Probabilitas dan Teori Optimasi.

Email: hilda801.hilda@gmail.com

